



Universidad  
Carlos III de Madrid

# **Diseño de antena en banda UVHF para aplicaciones aeroespaciales**

---

**Trabajo Fin de Grado**

Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones

**Autor: Juan José ARIAS PICAZO**

**Tutor: Javier MONTERO DE PAZ**

**Co-director: Daniel SEGOVIA VARGAS**

Leganés, Junio 2014



# Agradecimientos

---

En este apartado me gustaría mencionar a aquellas personas que directa o indirectamente han contribuido a la realización de este Trabajo Fin de Grado que supone un punto y aparte a mi educación universitaria.

En primer lugar, agradecer a mi co-director Daniel Segovia Vargas por brindarme la oportunidad de trabajar con el grupo de Radiofrecuencia de la UC3M y confiar en mí para la realización de este Trabajo Fin de Grado. Además, su ayuda para la participación en el curso “Fundamentals on Antennas” me permitió vivir una experiencia muy positiva en un ambiente multicultural que sin duda agradezco. Del mismo modo, no puedo olvidarme de la inestimable ayuda de mi tutor y amigo Javier Montero de Paz. Gracias a él, el camino recorrido hasta aquí ha sido más ameno pudiendo decir que mi afición por el mundo de la radiofrecuencia, en gran medida, es gracias a él. También agradecer a mis profesores de la asignatura de “Propagación y Transmisión Inalámbrica”, Francisco Javier Herraiz y Luis Enrique García Muñoz, que fomentaron mi interés por el mundo de las antenas.

Muchísimas gracias a todos mis compañeros y amigos de la universidad que han hecho de estos años una experiencia increíble e irrepetible. No puedo dejar de mencionar a Juan, los Javis, Paula, Jimmy y tantos otros. Muy especialmente a Pablo por tener siempre esa chispa de gracia que en diversos momentos de la carrera se necesitaba. Con él y con Javi, el camino universitario aún no ha finalizado ya que empezaremos el Máster el próximo curso, pero para aquellos que ahora parece que nuestros caminos se separan, espero que se vuelvan a juntar dentro de muy poco y sigamos compartiendo momentos únicos.

Mención aparte merece toda la familia. Gracias a todos mis tíos, primos y abuelos por tantos momentos que hemos pasado y que me han ayudado a ser mejor persona y concebir la vida de la mejor manera posible. Gracias a mis abuelillos que desde el cielo seguro que os sentís orgullosos de vuestro “Chanito” y parte de este TFG es vuestro. Y todo en este Trabajo Fin de Grado no creo que quepan todas las palabras de admiración, agradecimiento y amor que siento por mis padres y hermano. Gracias por la educación que me habéis dado, por comprenderme en todo momento y por quererme como soy.

Y si de amor seguimos hablando, quería terminar este apartado contigo Mónica. Porque tú has sido la responsable de que yo llegaré hasta aquí, porque tú has sido ese cachito que me falta a mí, porque tú eres lo mejor que me ha pasado en la vida desde hace 6 años y en definitiva, porque tú, eres tú. Muchas gracias.



# Resumen

---

En este Trabajo Fin de Grado se presentan desarrollos y prototipos de antenas en banda UVHF (Ultra Very High Frequency) para aplicaciones aeroespaciales, cumpliendo con unos requisitos de ancho de banda y tamaño.

En primer lugar, se realiza una revisión del estado del arte en cuanto a antenas embarcadas. Se expone una clasificación de topologías clásicas y modernas, descubriendo así sus principales características y diferencias.

Una vez introducido el tema de motivación de la memoria, se selecciona una topología, de acuerdo al tamaño y ancho de banda requeridos, que será desarrollada a partir de ese momento durante todo el Trabajo Fin de Grado. Tras la elección, el siguiente paso es su implementación en el software de simulación, realizando para ello los ajustes necesarios para el cumplimiento de los requerimientos.

A continuación comienza el proceso de miniaturización necesario al tratarse de una antena para aplicaciones aeroespaciales, entorno en el que la reducción de tamaño y peso es de vital importancia. Dicho proceso finaliza una vez que se alcanzan los requerimientos de ancho de banda con el menor tamaño posible.

El siguiente paso natural a la simulación es observar el funcionamiento experimental real de la antena. Al proyectar la fabricación, se descubre que la antena simulada es excesivamente grande para su fabricación con los recursos disponibles. Así pues, se plantea un nuevo reto y se propone realizar un prototipo escalado con el objetivo de que cubra las bandas S y L (1800 MHz – 2500 MHz). Finalmente, la antena es fabricada y medida utilizando la cámara anecoica y el analizador de redes del laboratorio.



# Abstract

---

Developments and prototypes of UVHF band antennas for aircraft applications, provided certain requirements of bandwidth and size, are presented in this Bachelor Thesis.

First, a review of the state of the art in terms of loaded antennas is performed. Classic and modern topologies are exposed, discovering its main features and differences.

At that point, a topology according to the size and bandwidth required is selected. Then an implementation is done in the simulation software, carrying out the necessary adjustments to obtain the requirements of the antenna design.

Afterwards, the process of miniaturization required to be an antenna for aircraft applications, in which the reduction in weight and size is critical is carried out. This process ends when the bandwidth requirements with the smallest possible size are achieved.

The next natural step to the simulation is to show the actual experimental antenna performance. While designing the antenna it was found that the simulated antenna is too large to be manufactured with the available resources. Thus arises a new challenge, and it is proposed to develop a scaled prototype with the goal of covering the bands S and L (1800 MHz – 2500 MHz). Finally, the antenna is fabricated and measured using the anechoic chamber and the laboratory network analyzer.





# Contenido

Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tablas.....	XV
Glosario de Términos .....	XVII
<i>Capítulo I Introducción</i> .....	1
1.1.    Requerimientos del sistema.....	2
1.2.    Estructura de la memoria.....	3
1.3.    Software de simulación.....	4
<i>Capítulo II Antenas Embarcadas</i> .....	6
2.1.    Introducción .....	8
2.2.    Topologías de antenas en banda UVHF .....	11
2.2.1.    Topologías Clásicas.....	11
i.    Monopolo $\lambda/4$ banda ancha .....	11
ii.    Ranura circular plana .....	12
iii.    Monopolo $\lambda/4$ .....	12
iv.    Discono.....	13
v.    Discono miniaturizado .....	13
vi.    Dipolo $\lambda/2$ con simetría .....	14
vii.    Dipolo coaxial .....	14
2.2.2.    Topologías Modernas.....	15
i.    Printed slot Planar Inverted Cone .....	15
ii.    Printed Circular Disc Monopole .....	16
iii.    Flat monopole .....	17
iv.    Broadband Omnidirectional and Miniature Fold-up Discone Antenna in VHF/UHF Band .....	18
2.3.    Conclusiones.....	19
<i>Capítulo III Antena Discono</i> .....	20
3.1.    Características .....	22
3.2.    Estudio de la antena de tipo discono .....	24
3.2.1.    Requerimientos del sistema.....	24
3.2.2.    Análisis paramétrico.....	24
i.    Parámetro “h” .....	25
ii.    Parámetro “d” .....	31
iii.    Parámetro “Dmax” .....	37

3.3.	Prototipo final .....	43
3.3.1.	Influencia del espesor .....	47
3.4.	Conclusiones.....	48
<i>Capítulo IV Miniaturización de la antena discono.....</i>		50
4.1.	Funcionamiento de la antena miniaturizada .....	52
4.1.1.	Discono con cavidad exterior .....	53
4.1.2.	Discono con cavidad exterior e interior .....	53
4.1.3.	Discono con cavidad exterior y disco superior.....	54
4.1.4.	Antena completa.....	54
4.2.	Primer diseño .....	56
4.2.1.	Análisis paramétrico.....	56
i.	Parámetro “d” .....	56
ii.	Parámetro “a” .....	62
iii.	Parámetro “Altura Poste” .....	68
4.3.	Prototipo final .....	69
4.3.1.	Influencia del espesor .....	72
4.4.	Conclusiones.....	73
<i>Capítulo V Diseño, fabricación y medida de prototipo en bandas S y L (1.8GHz-2.5GHz) .....</i>		74
5.1.	Antena diseñada.....	76
5.2.	Antena fabricada .....	80
5.2.1.	Prototipo fabricado y método de medida .....	80
5.2.2.	Medida de adaptación .....	82
5.2.3.	Medida de radiación .....	83
5.3.	Conclusiones.....	84
<i>Capítulo VI Conclusiones y Líneas Futuras.....</i>		86
6.1.	Conclusiones.....	88
6.2.	Líneas futuras de investigación .....	89
6.2.1.	Reducción del peso de la estructura .....	89
6.2.2.	Búsqueda de otras topologías.....	89
<i>Capítulo VII Presupuesto y Diagrama de Gantt.....</i>		90
Bibliografía .....		96
<i>Anexos .....</i>		98
Planos de la antena fabricada .....		100
Presupuesto material de la antena fabricada .....		105

# Índice de Figuras

Figura II.1. Modelo realizado por ordenador de la red de antenas presentes debajo de un avión P-3B (NASA). El array está formado por tres subarrays [7].....	8
Figura II.2. Representación de la antena monopolo $\lambda/4$ de banda ancha [6] .....	11
Figura II.3. Representación de la antena ranura circular plana [6] .....	12
Figura II.4. Representación de la antena monopolo $\lambda/4$ [6] .....	12
Figura II.5. Representación de la antena discono [9] .....	13
Figura II.6. Representación de la antena discono miniaturizada [9].....	13
Figura II.7. Representación de la antena dipolo $\lambda/2$ con simetría [6] .....	14
Figura II.8. Representación de la antena dipolo $\lambda/2$ con simetría y funda [6] .....	14
Figura II.9. Representación de la antena dipolo coaxial [6] .....	14
Figura II.10. Parámetro $S_{11}$ de la antena “printed slot planar inverted cone” [10].....	15
Figura II.11. Representación de la antena “printed slot planar inverted cone” [10].....	15
Figura II.12. Parámetro $S_{11}$ de la antena “printed circular disc monopole” [11] .....	16
Figura II.13. Representación de la antena “printed circular disc monopole” [11].....	16
Figura II.14. Parámetro $S_{11}$ de la antena “flat monopole” [12].....	17
Figura II.15. Representación de la antena “flat monopole” [12] .....	17
Figura II.16. Representación de “broadband omnidirectional and miniature fold-up discone antenna” [13] .....	18
Figura II.17. Parámetro $S_{11}$ de “broadband omnidirectional and miniature fold-up discone antenna” [13] .....	18
Figura III.1. Antena discono convencional .....	22
Figura III.2. Antena de tipo discono [6] .....	23
Figura III.3. Representación del parámetro $S_{11}$ en función del parámetro h. Unidades de h en mm .....	25
Figura III.4. Diagrama de radiación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro h (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz .....	27
Figura III.5. Diagrama de radiación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro h (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz .....	29
Figura III.6. Representación de la ganancia en función del parámetro h. Unidades h en mm ...	29
Figura III.7. Representación de la directividad en función del parámetro h. Unidades h en mm .....	30
Figura III.8. Representación de la eficiencia de radiación en función del parámetro h. Unidades h en mm .....	30
Figura III.9. Representación de parámetro $S_{11}$ en función del parámetro d. Unidades d en mm	31
Figura III.10. Representación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro d (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz ...	33

Figura III.11. Representación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro d (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz .....	35
Figura III.12. Representación de la ganancia en función del parámetro d. Unidades d en mm .	35
Figura III.13. Representación de la directividad en función del parámetro d. Unidades d en mm .....	36
Figura III.14. Representación de la eficiencia de radiación en función del parámetro d. Unidades d en mm .....	36
Figura III.15. Representación del parámetro $S_{11}$ en función del parámetro Dmax. Unidades Dmax en mm .....	37
Figura III.16. Representación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro Dmax (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz .....	39
Figura III.17. Representación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro Dmax (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz .....	41
Figura III.18. Representación de la ganancia en función del parámetro Dmax. Unidades Dmax en mm .....	41
Figura III.19. Representación de la directividad en función del parámetro Dmax. Unidades Dmax en mm .....	42
Figura III.20. Representación de la eficiencia de radiación en función del parámetro Dmax. Unidades Dmax en mm .....	42
Figura III.21. Representación gráfica del prototipo final.....	43
Figura III.22. Parámetro $S_{11}$ del prototipo final.....	44
Figura III.23. Representación de la ganancia del prototipo final .....	44
Figura III.24. Representación de la directividad del prototipo final.....	45
Figura III.25. Representación de la eficiencia de radiación del prototipo final.....	45
Figura III.26. Representación del diagrama de radiación en distintas frecuencias del prototipo final (a) 100 MHz (b) 200 MHz (c) 300 MHz (d) 400 MHz (e) 500 MHz.....	46
Figura III.27. Representación del parámetro $S_{11}$ observando la variación del espesor. Unidades espesor en mm .....	47
Figura III.28. Representación del peso en función del espesor .....	47
Figura IV.1. Discono con cavidad exterior [9] .....	53
Figura IV.2. Discono con cavidad exterior e interior [9].....	53
Figura IV.3. Discono con cavidad exterior y disco superior [9] .....	54
Figura IV.4. Esquemático de la antena de tipo discono propuesto en [9] .....	54
Figura IV.5. ROE de las distintas partes del proceso de miniaturización .....	55
Figura IV.6. Parámetro $S_{11}$ en función del parámetro d. Unidades d en mm.....	56
Figura IV.7. Representación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro d (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz.....	58
Figura IV.8. Representación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro d (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz.....	60
Figura IV.9. Ganancia en función del parámetro d. Unidades d en mm .....	61
Figura IV.10. Directividad en función del parámetro d. Unidades d en mm.....	61
Figura IV.11. Eficiencia de radiación en función del parámetro d. Unidades d en mm .....	61

Figura IV.12. Parámetro $S_{11}$ en función del parámetro a. Unidades a en mm.....	62
Figura IV.13. Representación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro a (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz .....	64
Figura IV.14. Representación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro a (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz.....	66
Figura IV.15. Ganancia en función del parámetro a. Unidades a en mm .....	67
Figura IV.16. Directividad en función del parámetro a. Unidades a en mm .....	67
Figura IV.17. Eficiencia de radiación en función del parámetro a. Unidades a en mm .....	67
Figura IV.18. Parámetro $S_{11}$ correspondiente al parámetro ‘altura postes’ .....	68
Figura IV.19. Representación del prototipo de la antena miniaturizada .....	69
Figura IV.20. Representación del parámetro $S_{11}$ del prototipo final de la antena miniaturizada .....	69
Figura IV.21. Representación de la ganancia del prototipo final de la antena miniaturizada ....	70
Figura IV.22. Representación de la directividad del prototipo final de la antena miniaturizada 70	
Figura IV.23. Representación de la eficiencia de radiación del prototipo final de la antena miniaturizada .....	70
Figura IV.24. Representación del diagrama de radiación en distintas frecuencias del prototipo final (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz.....	72
Figura IV.25. Representación del espesor de las láminas del prototipo final .....	72
Figura IV.26. Representación del peso en función del espesor de las láminas de la antena.....	73
Figura V.1. Prototipo escalado de la antena miniaturizada .....	76
Figura V.2. Parámetro $S_{11}$ del prototipo de la antena escalada .....	77
Figura V.3. Directividad del prototipo de la antena escalada .....	77
Figura V.4. Ganancia del prototipo de la antena escalada .....	77
Figura V.5. Eficiencia de radiación de la antena escalada.....	78
Figura V.6. Representación del diagrama de radiación de la antena escala en distintas frecuencias (a) 1800 MHz (b) 2000 MHz (c) 2200 MHz (d) 2400 MHz (e) 2600 MHz .....	79
Figura V.7. (a) Vista en planta de la antena fabricada enfrentada a 1€; (b) Antena fabricada sin disco superior .....	80
Figura V.8. Método de medida de radiación de la antena.....	81
Figura V.9. (a) Antena bocina (sonda); (b) Antena discono (antena a medir) .....	81
Figura V.10. Parámetro $S_{11}$ de la antena fabricada (color azul) y antena simulada (color rojo). 82	
Figura V.11. Diagrama de radiación de la antena fabricada comparada con la antena simulada .....	84
Figura VII.1. Diagrama de Gantt (Microsoft Project).....	93



# Índice de Tablas

Tabla II.1. Bandas de frecuencias asignadas por la UIT .....	9
Tabla II.2. Clasificación de las estaciones operando .....	10
Tabla II.3. Tamaño de los parámetros la antena discono .....	13
Tabla II.4. Representación de los parámetros del discono miniaturizado .....	13
Tabla II.5. Tamaño de los parámetros de la “printed slot planar inverted cone” .....	15
Tabla II.6. Tamaño de los parámetros de la “printed circular disc monopole” .....	16
Tabla II.7. Tamaño de los parámetros de la “flat monopole” .....	17
Tabla II.8. Representación del tamaño de “broadband omnidirectional and miniature fold-up discone antenna” .....	18
Tabla III.1. Descripción de los parámetros del discono.....	23
Tabla III.2. Medidas del prototipo final .....	43
Tabla IV.1. Valores de los parámetros del prototipo de la antena miniaturizada .....	69
Tabla VII.1. Duración de fases (tareas), subtareas y proyecto en días laborables (Microsoft Project) .....	92
Tabla VII.2. Información del proyecto especificando duración, horas de trabajo y costo de personal (Microsoft Project) .....	94
Tabla VII.3. Coste de los equipos empleados.....	95
Tabla VII.4. Coste material de la antena .....	95
Tabla VII.5 Coste final desglosado del Trabajo Fin de Grado .....	95





# Glosario de Términos

VHF	Very High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
UVHF	Ultra Very High Frequency
FBW	Fractional Bandwidth
SMA	Servicio Móvil Aeronáutico
T/A	Tierra/Aire
ATC	Air Traffic Control
LDOC	Long Distance Operational Control
FSS	Flight Service Stations
VSWR, ROE	Voltage Standing Wave Ratio



# ***Capítulo I***

## ***Introducción***



**CAPÍTULO I**  
**Introducción**

En el presente documento se va a llevar a cabo el desarrollo del diseño de una antena en la banda UVHF para aplicaciones aeroespaciales.

Para conseguirlo, en primer lugar es necesario conocer qué tipo de antenas existen en esa banda de frecuencias. A partir de ahí, y con los requerimientos estipulados para la antena, realizaremos un análisis para determinar qué topología es la más adecuada. Después de elegir la antena correspondiente, se procederá a la fase de diseño donde mediante un proceso de optimización se intentará que cumpla con los requerimientos establecidos. A continuación se procederá a realizar una miniaturización debido a que las dimensiones de la antena deben ser lo más pequeñas posibles.

### **1.1. Requerimientos del sistema**

Los requerimientos de la antena se resumen en los siguientes puntos:

- Debe cubrir un ancho de banda entre 100 MHz y 400 MHz, con un criterio de - 10 dB.

$$|S_{11}| \leq -10 \text{ dB}$$

- Debe tener un diagrama de radiación omnidireccional.
- Debe tener polarización lineal.
- Debe ser lo más pequeño posible para facilitar su implantación en el vehículo correspondiente.

## 1.2. Estructura de la memoria

La estructuración de la memoria ha sido diseñada para guiar de forma lógica al lector hacia el objetivo principal. A continuación se presenta brevemente dicha estructura, pensada para facilitar la lectura del Trabajo Fin de Grado:

El primer capítulo consiste en la definición de objetivos del Trabajo Fin de Grado y estructura de la memoria, con el fin de proporcionar una visión global al lector.

En el segundo capítulo se realiza una revisión del estado del arte diferenciando los sistemas clásicos y los más modernos. En cada antenna se va a describir cuál es su tamaño y su ancho de banda para poder realizar una comparación entre todas las antenas y, finalmente, elegir el que mejor se adecue a los requerimientos del sistema.

El siguiente capítulo se centra en el análisis de la antenna elegida en el apartado anterior. Primero, se describen las principales aplicaciones y funcionalidades de la antenna y, seguidamente, se detalla el proceso de diseño y optimización de la misma. Tras realizar el análisis, se llega a un prototipo final y se expone, de forma gráfica, la forma en la que radia la antenna y el ancho de banda en el que funciona.

Después de haber realizado un prototipo que cumpla con las especificaciones, en el cuarto capítulo se realiza una miniaturización en términos de la altura, intentando que siga ofreciendo las mismas prestaciones que la del capítulo anterior. Tras una breve discusión sobre los problemas que plantean las dimensiones de la antenna, el capítulo se centra en explicar las partes de las que está formada la nueva antenna y realizar, igual que en el tercer capítulo, una optimización de los parámetros más relevantes. Por último, se expondrá el prototipo final miniaturizado.

En el quinto capítulo, tras el análisis realizado en el capítulo anterior y las conclusiones desprendidas, se realizará el diseño, fabricación y medición de una antenna en una banda de frecuencias superior. Este hecho es debido a que la antenna desarrollada hasta el momento es demasiado grande para ser construida y medida. Así pues, en este capítulo se compararán los resultados teóricos con los de simulación y se verán las diferencias.

Las conclusiones finales y líneas futuras de investigación, a las que este Trabajo Fin de Grado sirve como punto de partida, se presentan en el sexto capítulo.

Para finalizar, el séptimo capítulo muestra el diagrama de Gantt del Trabajo Fin de Grado y el presupuesto para la realización del mismo.

### **1.3. Software de simulación**

Para la realización de este Trabajo Fin de Grado se utilizara el siguiente software:

- CST Studio Suite para la simulación de la antena.

CST Microwave Studio [1] es un software 3D comercial de análisis electromagnético de onda completa. Dentro de este grupo de simuladores se encuentran HFSS [2] o FEKO [3] entre otros. La diferencia entre ellos radica en el método utilizado para resolver las ecuaciones de Maxwell, siendo más adecuado uno u otro en función del tipo de problema a resolver. Además, existen otros programas de análisis EM que son los denominados circuitales, como AWR [4] o ADS [5]. Éstos no resuelven el problema electromagnético completo, sino que realizan aproximaciones a elementos circuitales y resuelven una versión simplificada del mismo.





## ***Capítulo II***

### ***Antenas Embarcadas***



## 2.1. Introducción

A la hora de diseñar una antena para aplicaciones aeroespaciales existe una gran variedad de factores que deben ser tenidos en cuenta, como la posición de la antena a diseñar o los requerimientos de cobertura. Por ejemplo, éstos últimos están relacionados con los cambios de posición en vuelo más que con los ángulos de elevación altos con respecto a la estación de tierra. Además, en la mayoría de los aviones la cobertura se limita al plano azimutal y a los ángulos de elevación limitados por los cambios de posición normal del avión [6].

En cuanto a la colocación de la antena es imprescindible tener en cuenta los efectos de absorción y reflexión que produce el fuselaje de los aviones. Actualmente, se construyen con materiales cada vez más ligeros, como fibra de carbono que hace que estos efectos se reduzcan o incluso desaparezcan. Un ejemplo de antena embarcada se ilustra en la Figura II.1. Se puede observar que el sistema está compuesto por tres sub-arrays colocados en tres partes distintas del avión [7] .

Por lo tanto, teniendo en cuenta esta variedad de factores, el trabajo se enfoca en proporcionar una buena comunicación entre el avión y la estación tierra.

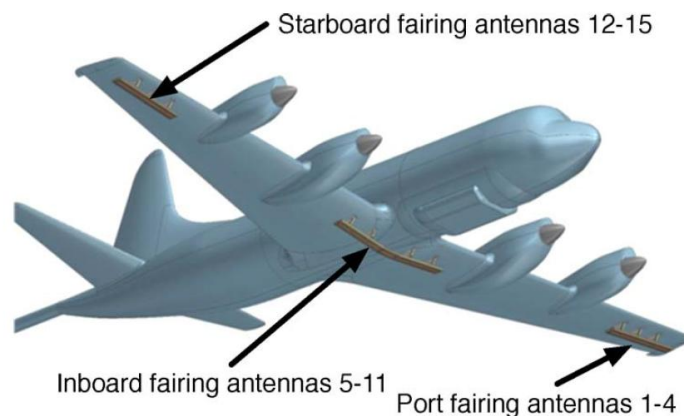


Figura II.1. Modelo realizado por ordenador de la red de antenas presentes debajo de un avión P-3B (NASA). El array está formado por tres subarrays [7]

En este tipo de aplicaciones, las antenas trabajan a una frecuencia entre 30 MHz y 3 GHz: son las conocidas banda VHF (30MHz - 300 MHz) y UHF (300 MHz - 3 GHz).

En la banda UHF se transmiten, entre otras, las emisoras de radio internacionales para transmitir su propagación al mundo, las estaciones marítimas y aeronáuticas. El SMA opera dentro de estas frecuencias y en la Tabla II.1 se muestra un cuadro de las frecuencias asignadas por la UIT [8].

Tabla II.1. Bandas de frecuencias asignadas por la UIT

Bandas de frecuencia del SMA (KHz)	
2.850 a 3.025	10.005 a 10.100
3.400 a 3.500	11.275 a 11.400
4.650 a 4.700	13.260 a 13.360
5.450 a 5.680	17.900 a 17.970
6.525 a 6.685	21.925 a 22.000
8.815 a 8.965	

La transmisión por radio en UHF es el único sistema de comunicaciones no satélite capaz de establecer enlace directo entre aeronaves y estaciones terrestres, o entre estaciones terrestres, en distancias superiores al horizonte radio. Esta característica ha hecho que las comunicaciones en UHF hayan sido de gran utilidad cuando se han requerido enlaces directos entre aeronaves y centros de comunicaciones en vuelos a baja altura, océanos y sobre áreas montañosas.

Las comunicaciones mantenidas a través de las bandas aeronáuticas en UHF, mencionadas anteriormente, tienen lugar cuando las aeronaves están en pleno vuelo, a gran distancia de los centros de control. Pero cuando la aeronave está próxima a su destino y se dispone a iniciar el procedimiento de descenso, se utiliza la banda VHF para las comunicaciones entre el piloto y las estaciones en tierra. Así pues, el SMA también opera en VHF entre 117,975 y 136 MHz, siendo utilizada esta banda para las comunicaciones T/A en las proximidades de los aeropuertos, en donde se hallan situadas las estaciones fijas. Para la aviación militar se utiliza una banda superior, de 136 a 143 MHz.

- Las frecuencias de llamada de aeronaves para casos de emergencia o desastre aéreo son las siguientes: 2.182, 3.023, 5.680, 8.364 kHz y 121.5 MHz.
- Las frecuencias utilizadas para búsqueda y rescate son: 10.003, 14.993 y 19.993 kHz.

De acuerdo a la función que realizan las estaciones operando en UVHF, se suele hacer la clasificación de la Tabla II.3 [8].

Tabla II.2. Clasificación de las estaciones operando

<b>Estaciones operando</b>	
<b>ATC</b>	Estaciones fijas situadas en tierra, cuya función fundamental consiste en servir de guía y brindar apoyo a los pilotos
<b>LDOP</b>	Son estaciones fijas operadas por las distintas compañías aéreas internacionales, las cuales se encargan de establecer comunicaciones con las aeronaves pertenecientes a su flota
<b>AERONAVES</b>	Son estaciones móviles que establecen comunicaciones regulares con alguna estación de tierra durante el vuelo
<b>VOLMET</b>	Son estaciones fijas que proporcionan durante el día información sobre las condiciones meteorológicas existentes en el área de los aeropuertos y aeródromos de su zona.
<b>FSS</b>	Estaciones fijas que se ocupan de suministrar todo tipo de información relativa al vuelo

## 2.2. Topologías de antenas en banda UVHF

A continuación, se presenta la revisión de estado del arte que muestra una visión global, de forma esquemática, de las antenas en esta banda de frecuencias, especificando los siguientes parámetros:

- El tamaño de la estructura en múltiplos de longitudes de onda ( $\lambda$ ) donde  $\lambda = \frac{c}{f}$  siendo  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$  y  $f$  es la frecuencia escogida.
- Ancho de banda relativo (en adelante, “FBW”).

Para realizar una comparación justa entre todas las antenas en términos de tamaño y prestaciones, se ha escogido una frecuencia central de 300 MHz.

### 2.2.1. Topologías Clásicas

En este apartado se va a describir las topologías más comunes utilizadas en este rango de frecuencias [6].

#### i. Monopolo $\lambda/4$ banda ancha

El monopolo  $\lambda/4$  está formado por dos cilindros, en forma de lágrima, separados y alimentados por un coaxial. El vivo del coaxial llega hasta el segundo cilindro mientras que la masa solo está presente en la primera estructura.

Con las medidas proporcionadas en la Figura II.2, la antena tendrá una altura de  $\lambda/4$  y el diámetro del cilindro será de  $\lambda/10$ . El ancho de banda correspondiente es del 66,66%.

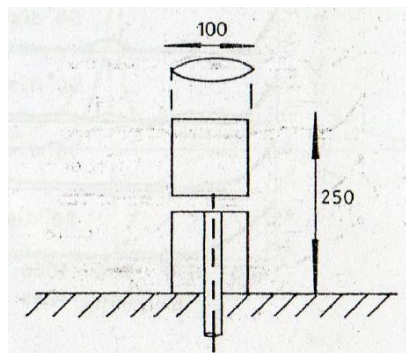


Figura II.2. Representación de la antena monopolo  $\lambda/4$  de banda ancha [6]

## ii. Ranura circular plana

La ranura circular plana mostrada en la Figura II.3, está formada por un disco encerrado en una cavidad circular. Gracias a la cavidad se consigue que características como la directividad mejore. Con los datos proporcionados en la Figura II.3, la altura de la cavidad es de  $\lambda/10$  y se consigue un ancho de banda del 50%.

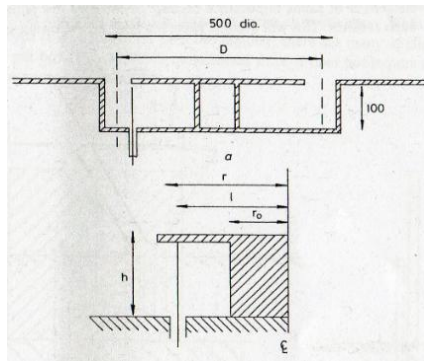


Figura II.3. Representación de la antena ranura circular plana [6]

## iii. Monopolo $\lambda/4$

El monopolo  $\lambda/4$  es una estructura muy simple (véase Figura II.4) formada únicamente por el coaxial que alimenta la antena y el propio monopolo. El tamaño de la antena es de  $\lambda/4$  y el ancho de banda es del 12,5%.

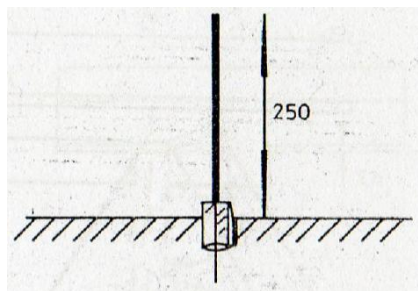


Figura II.4. Representación de la antena monopolo  $\lambda/4$  [6]

iv. Discono

La antena discono es conocida por su gran ancho de banda. En la Figura II.5 se puede observar que está formada por un cono y un disco separados una distancia determinada. El discono es alimentado por un coaxial cuyo vivo está conectado al disco, y la masa del coaxial finaliza en el cono. Con las medidas proporcionadas por [9] se obtiene un ancho de banda del 76%. El tamaño de cada parámetro de la estructura se refleja en la Tabla II.3.

Tabla II.3. Tamaño de los parámetros la antena discono

Parámetro	Tamaño ( $\lambda$ )
<b>h</b>	0,6
<b>Dmin</b>	0,026
<b>d</b>	0,36
<b>Dmax</b>	0,467
<b><math>\delta</math></b>	$1,3 \cdot 10^{-3}$

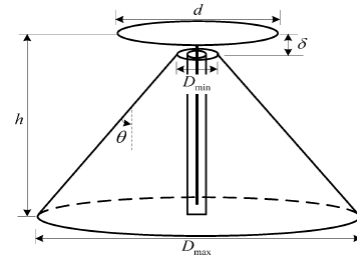


Figura II.5. Representación de la antena discono [9]

v. Discono miniaturizado

En la Figura II.6 se observa el dipolo resultado de un proceso de miniaturización de la estructura mencionada en iv. El ancho de banda del sistema es del 66.6% y el tamaño se refleja en la Tabla II.4.

Tabla II.4. Representación de los parámetros del discono miniaturizado

Parámetro	Tamaño ( $\lambda$ )
<b>h</b>	0,064
<b>H</b>	0,086
<b>Dmin</b>	0,026
<b>d</b>	0,36
<b>D</b>	0,467
<b><math>\delta</math></b>	$1,3 \cdot 10^{-3}$

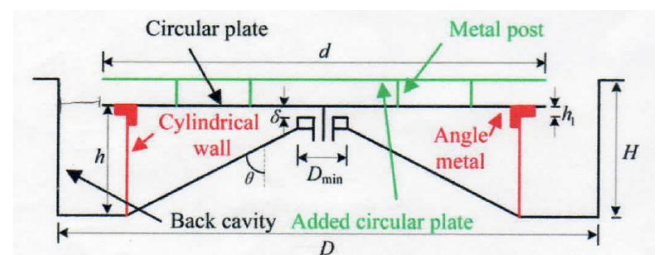


Figura II.6. Representación de la antena discono miniaturizada [9]



### vi. Dipolo $\lambda/2$ con simetría

La estructura de la Figura II.7 es un dipolo simétrico. El tamaño de la antena está representado en la Figura II.7. El ancho de banda de la estructura es del 15%.

También cabe la posibilidad de utilizar esta misma antena pero con una cubierta como muestra la Figura II.8. Mientras que el dipolo de la Figura II.7 es más conveniente para medidas temporales, la antena de la Figura II.8 se utiliza para medidas con más tiempo de duración. La función de la funda es proteger el dipolo frente a cambios en las condiciones meteorológicas.

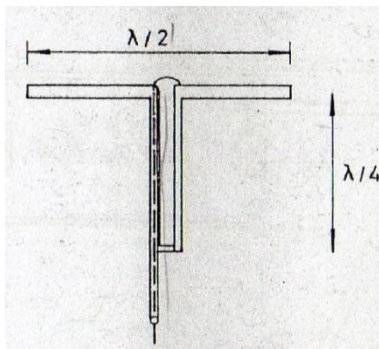


Figura II.7. Representación de la antena dipolo  $\lambda/2$  con simetría [6]

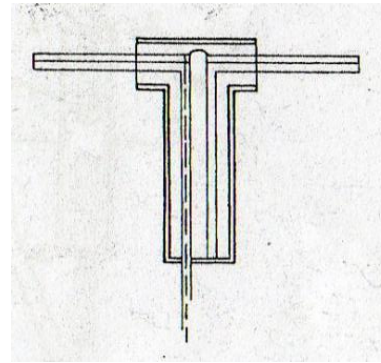


Figura II.8. Representación de la antena dipolo  $\lambda/2$  con simetría y funda [6]

### vii. Dipolo coaxial

La estructura de la Figura II.9 está formada por un dipolo alimentado por un coaxial. El tamaño de la antena es de  $\lambda/4$  en cada brazo. El ancho de banda correspondiente es del 10%.

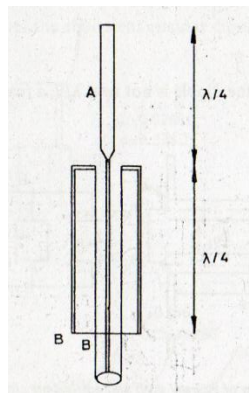


Figura II.9. Representación de la antena dipolo coaxial [6]

### 2.2.2. Topologías Modernas

En este apartado se presentan algunas antenas más sofisticadas que las del apartado anterior utilizándose tecnologías más actuales.

#### i. Printed slot Planar Inverted Cone

La estructura de la Figura II.11 es un diseño impreso formado por un cono invertido sobre un sustrato. Con el sustrato, el peso de la estructura aumenta y el sistema no puede soportar mucha potencia. El tamaño de los parámetros se ilustra en la Tabla II.5.

Tabla II.5. Tamaño de los parámetros de la “printed slot planar inverted cone”

Parámetro	Tamaño ( $\lambda$ )
<b>L,W</b>	0,06
<b>R</b>	0,06
<b>R<sub>f</sub></b>	0,012
<b>D</b>	0,01
<b>G</b>	0,0001
<b>Ws</b>	0,0005

Atendiendo a la Figura II.10, y con un criterio de -10 dB, obtenemos un ancho de banda de 162,5%.

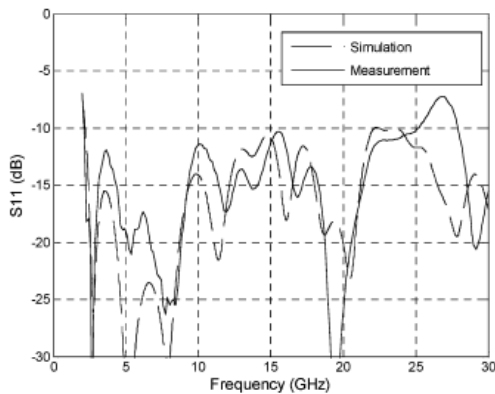


Figura II.10. Parámetro  $S_{11}$  de la antena “printed slot planar inverted cone” [10]

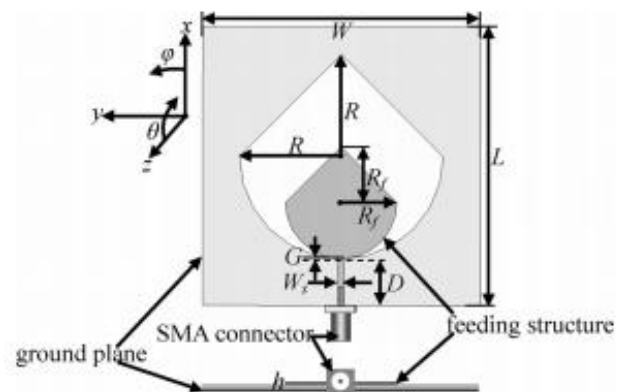


Figura II.11. Representación de la antena “printed slot planar inverted cone” [10]

## ii. Printed Circular Disc Monopole

La estructura presentada en la Figura II.13 es un diseño impreso formado por un disco circular. Al igual que la antena anterior, al estar formado por un sustrato, el peso de la estructura aumenta y el sistema no puede soportar mucha potencia. El tamaño de los parámetros que ilustra la Figura II.13 se ven reflejados en la Tabla II.6.

Tabla II.6. Tamaño de los parámetros de la “printed circular disc monopole”

Parámetro	Tamaño ( $\lambda$ )
L	0,05
W	0,042
R	0,01
$L_1$	0,02
h	0,0003

El ancho de banda observado en la Figura II.12 es del 107,69%.

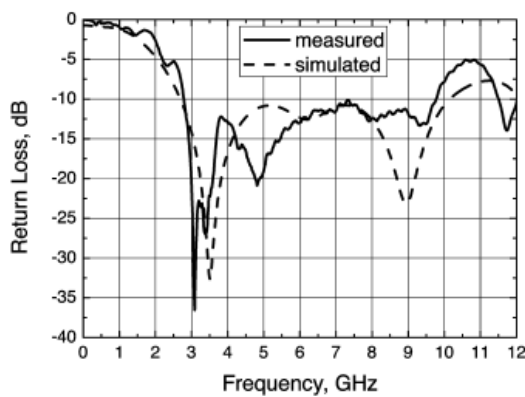


Figura II.12. Parámetro  $S_{11}$  de la antena “printed circular disc monopole” [11]

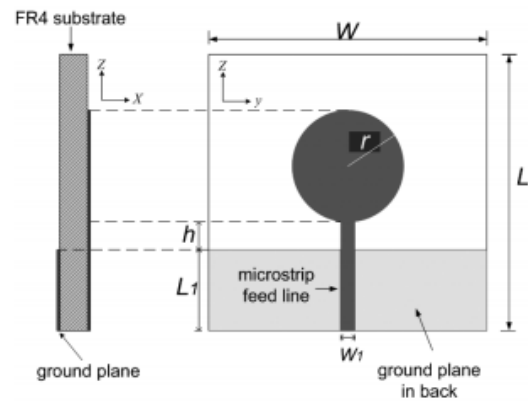


Figura II.13. Representación de la antena “printed circular disc monopole” [11]

### iii. Flat monopole

La estructura de la Figura II.15 está formada por un monopolo doblado. El funcionamiento de la antena está entre 112 y 130 MHz. Posee una polarización circular y con una frecuencia de 130 MHz, el tamaño de los parámetros se ilustra la Tabla II.7.

Tabla II.7. Tamaño de los parámetros de la “flat monopole”

Parámetro	Tamaño ( $\lambda$ )
$H_3$	0,28
$G_1$	0,02
$G_2$	0,043

El ancho de banda relativo que se muestra en la Figura II.14 es de 7%.

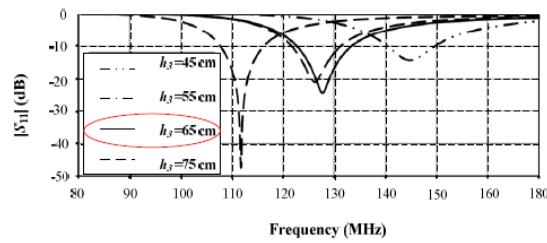


Figura II.14. Parámetro  $S_{11}$  de la antena “flat monopole” [12]

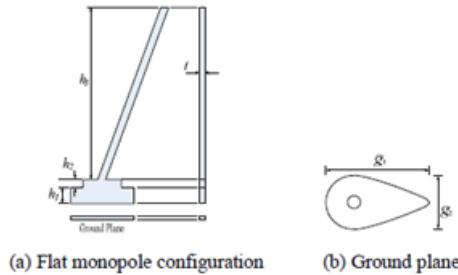


TABLE I. ANTENNA PARAMETERS

Parameter	Designation
Width of flat monopole	$t$
Height of flat monopole	$h_3$
Height of basement 2	$h_2$
Height of basement 1	$h_1$
Length of ground plane	$G_1$
Width of ground plane	$G_2$

Figura II.15. Representación de la antena “flat monopole” [12]

iv. **Broadband Omnidirectional and Miniature Fold-up Discone Antenna in VHF/UHF Band**

La antena presentada a continuación es utilizada especialmente en vehículos aéreos no tripulados. Su interés radica en la posibilidad de plegado y reducción de tamaño en el momento de aterrizaje [13]. Además, la disminución del peso, gracias a la discretización de la antena que consiste en diseñar la antena con una distancia entre aros de un múltiplo de longitudes de onda, en aplicaciones aeroespaciales es especialmente crítica y esta antena favorece este aspecto.

Como se observa en la Figura II.16, la antena está compuesta por un cono formado por aros concéntricos y por un disco de sección homogénea de donde emergen barras con direcciones radiales. El tamaño de las distintas partes de la estructura se representa en la Tabla II.8.

Tabla II.8. Representación del tamaño de “broadband omnidirectional and miniature fold-up discone antenna”

Geometría	Tamaño ( $\lambda$ )
Altura estructura	0,6
Diámetro cono	0,3
Diámetro disco	0,8
Longitud barra	0,4

En la Figura II.17 se observa que el ancho de banda con el criterio seguido en este capítulo es de 177,35%.

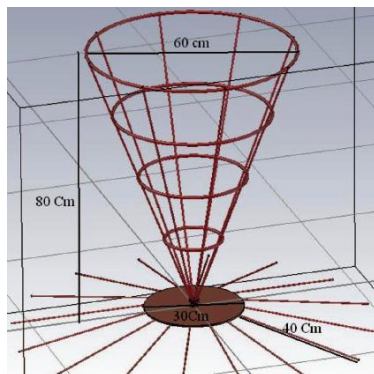


Figura II.16. Representación de “broadband omnidirectional and miniature fold-up discone antenna” [13]

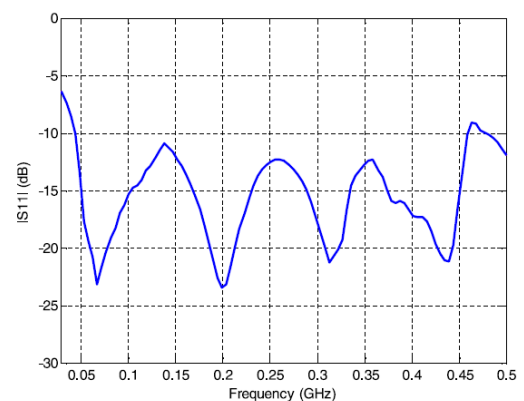


Figura II.17. Parámetro  $S_{11}$  de “broadband omnidirectional and miniature fold-up discone antenna” [13]

## **2.3 Conclusiones**

En este capítulo se ha presentado una serie de topologías de antenas en banda UVHF.

El análisis realizado se ha fragmentado en dos: análisis de los sistemas clásicos y modernos. En el primero de ellos, se encuentran antenas con estructuras más simples caracterizadas en su mayoría por un tamaño múltiplo de  $\lambda/4$ . En los sistemas modernos, se utilizan tecnologías más actuales como puede ser la tecnología microstrip. Además, en la mayoría de antenas modernas está presente el sustrato. Ésto supone un incremento del peso de la antena y requiere una menor cantidad de potencia debido a que el sustrato se puede quemar.

En relación con el peso, el último sistema analizado es un claro ejemplo de reducción de esta característica frente al discono mencionado en la topología clásica. En la mayoría de las estructuras mencionadas, el ancho de banda es elevado comparado con el de las antenas clásicas.

A continuación, en el siguiente capítulo, se procederá a analizar y optimizar una de las estructuras descritas en este capítulo.

***Capítulo III***  
***Antena Discono***





**CAPÍTULO III**  
**Antena Discono**

En este capítulo se pretende la consecución de un diseño de antena de tipo discono. Al comienzo del mismo se contextualizará la antena elegida, describiendo las aplicaciones, las partes que la componen y el funcionamiento de la misma. Seguidamente, se realizará un estudio paramétrico de la antena para describir la repercusión de todos ellos y, finalmente, obtendremos un prototipo final.

### **3.1. Características**

Una antena de tipo discono tiene, típicamente, al menos dos componentes principales: el disco y el cono (véase Figura III.1). El punto de alimentación de la antena se encuentra en el centro del disco. Por lo general, se alimenta con el cable coaxial de 50 ohmios, con el conductor central conectado al disco, y el conductor exterior al cono.



**Figura III.1. Antena discono convencional**

Una antena discono es una versión de una antena bicónica en el que uno de los conos se sustituye por un disco. Se monta por lo general verticalmente, con el disco en la parte superior y el cono debajo.

Se caracteriza por su omnidireccional, polarización vertical y ganancia similar a la de un dipolo [14]. La cobertura de banda ancha del discono le hace atractivo en aplicaciones comerciales, militares, de radioaficionados y en las aplicaciones de escáner de radio.

Observando el funcionamiento de la antena desde el punto de vista eléctrico, las líneas de campo siguen direcciones con origen el disco y dirigidas hacia la superficie del cono. Ésto es debido a que el vivo del coaxial llega al disco mientras que la tierra se sitúa en el cono. Si el ángulo del cono ( $\theta$  en la Figura III.2) es muy elevado, esas líneas de campo son muy similares eléctricamente hablando, y la longitud de onda asociada a cada frecuencia hace que la estructura funcione en un margen muy estrecho. Si por el contrario, el ángulo del cono es relativamente pequeño, hay gran diferencia entre las líneas de campo, haciendo que funcione en un margen amplio de frecuencias.

Un esquemático de este tipo de antena se puede ver en la Figura III.2 y sus principales parámetros se muestran en la Tabla III.1.

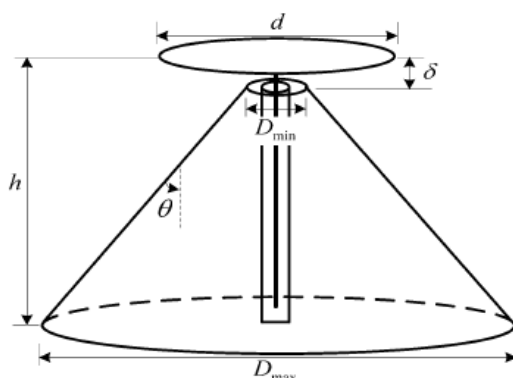


Figura III.2. Antena de tipo discono [6]

Tabla III.1. Descripción de los parámetros del discono

Parámetro	Descripción
$\delta$	Separación entre estructuras
$h$	Altura del discono
$D$	Diámetro del disco
$D_{max}$	Diámetro inferior del cono
$D_{min}$	Diámetro superior del cono
$\theta$	Ángulo del cono

### 3.2. Estudio de la antena de tipo discono

En este apartado se va a proceder a analizar y proponer un diseño de la antena. Para ello, primero se especifican los requerimientos que debe cumplir la antena y, seguidamente, se hará un análisis paramétrico para concluir con un prototipo final.

#### 3.2.1. Requerimientos del sistema

En este apartado se va a describir las características que debe cumplir la antena:

- El prototipo final debe cubrir un ancho de banda entre 100 MHz y 400 MHz con un criterio de -10 dB para el análisis de radiación de la antena.
- El prototipo final debe de ser lo más pequeño posible, siendo este requerimiento el menos importante en este capítulo.
- Polarización lineal.
- Diagrama de radiación dipolar.

#### 3.2.2. Análisis paramétrico

A continuación se va a realizar un estudio de los parámetros más relevantes, describiendo la repercusión que tienen en el diseño de la antena, siendo:

- i. La altura del cono (en adelante “h”).
- ii. El diámetro del disco (en adelante “d”).
- iii. El diámetro del cono (en adelante “Dmax”).

Se van a realizar una serie de simulaciones donde se muestran los resultados obtenidos en cuanto al parámetro  $S_{11}$ <sup>1</sup>, diagrama de radiación en plano E y plano H<sup>2</sup> (plano H corresponde al plano horizontal paralelo al suelo y el plano E al plano vertical perpendicular al suelo), la directividad, la ganancia y

---

<sup>1</sup> El parámetro  $S_{11}$  representa la cantidad de energía que se refleja desde la antena, y por lo tanto se conoce como el coeficiente de reflexión

<sup>2</sup> El plano E se define como el plano formado por la dirección de propagación y el vector campo eléctrico. El plano H se define como el plano formado por la dirección de propagación y el vector campo magnético. Ambos planos son ortogonales entre sí.

la eficiencia de radiación de la antena. Con el objetivo de observar más detalladamente la evolución del diagrama de radiación en ambos cortes (plano E y plano H), serán expuestos en función de diferentes frecuencias. En cuanto al espesor de las placas de la antena tendrán un valor de 1,5 cm.

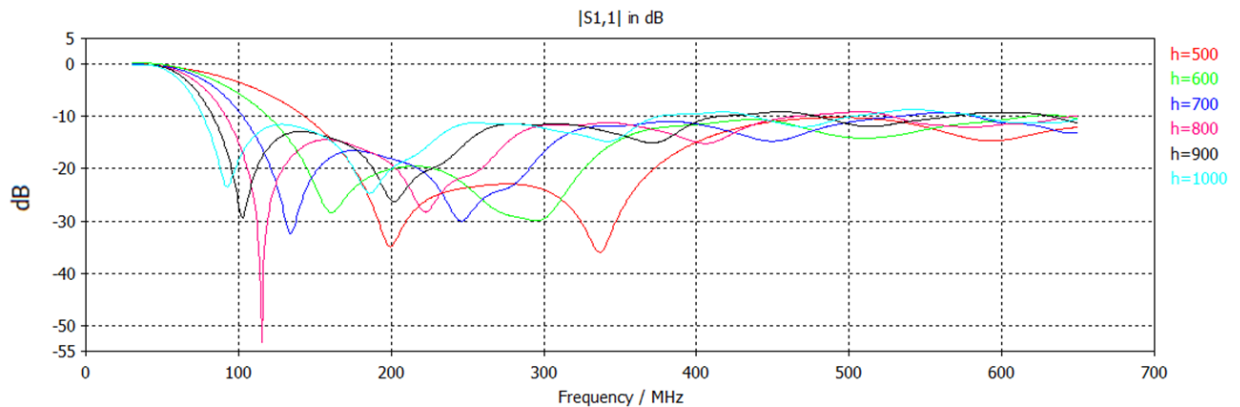
#### i. Parámetro “h”

Para realizar el análisis de este parámetro, se han fijado los valores de los otros dos (d y Dmax):

- Dmax = 850 mm
- d = 600 mm

##### Parámetro $S_{11}$

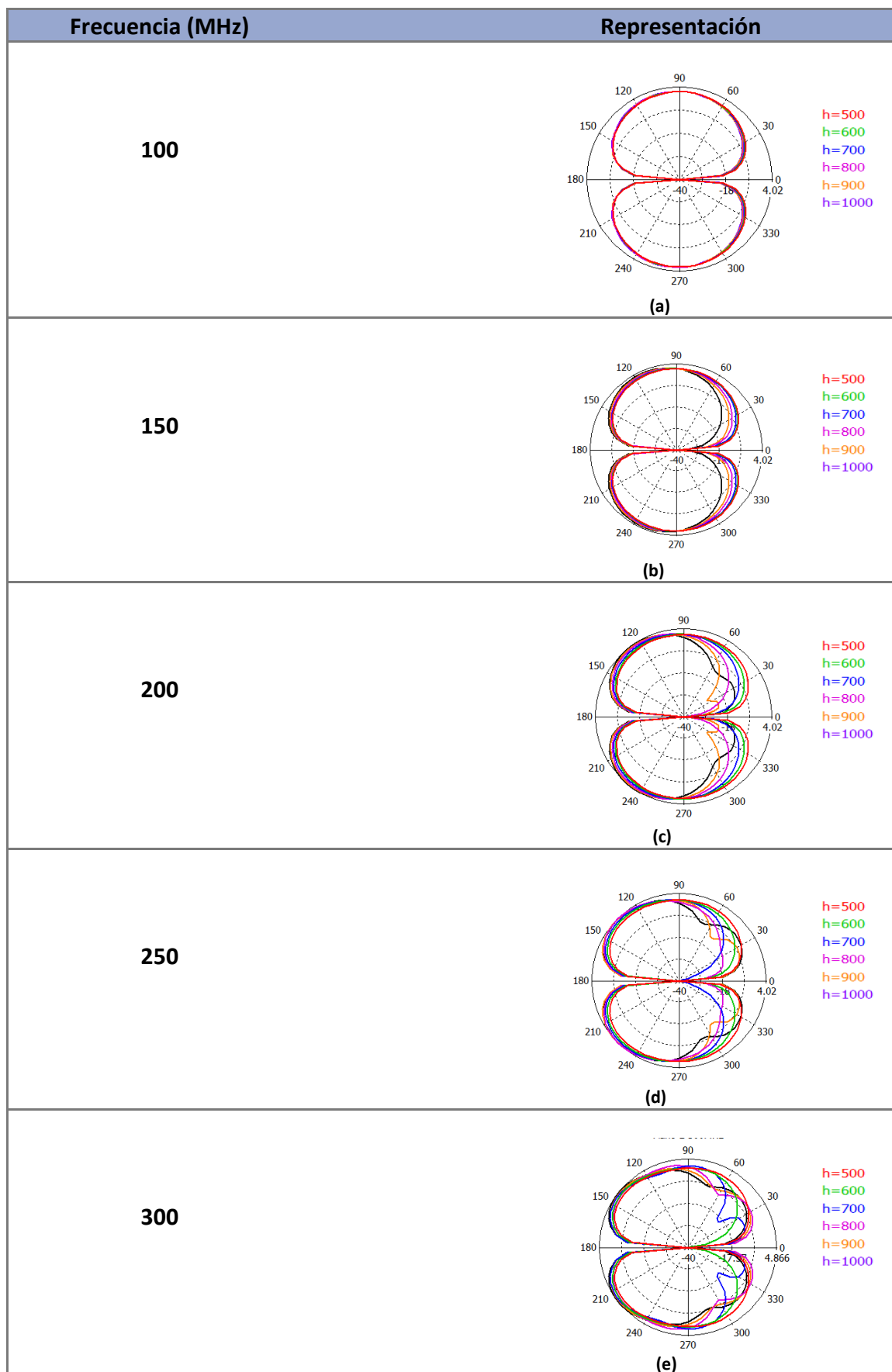
A continuación se muestra el parámetro  $S_{11}$  simulado para diferentes valores de h.



**Figura III.3.** Representación del parámetro  $S_{11}$  en función del parámetro h. Unidades de h en mm

Observando la Figura III.3, donde se encuentran representadas seis de las simulaciones realizadas, se puede concluir que aumentando la altura de la antena la primera resonancia disminuye en frecuencia. Por lo tanto, el parámetro h fijará el inicio de la banda.

A continuación en la Figura III.4 se analizará el diagrama de radiación para distintas frecuencias mostrando el plano E y el plano H, en cuyas representaciones cada color corresponderá a un valor de h.

Plano E

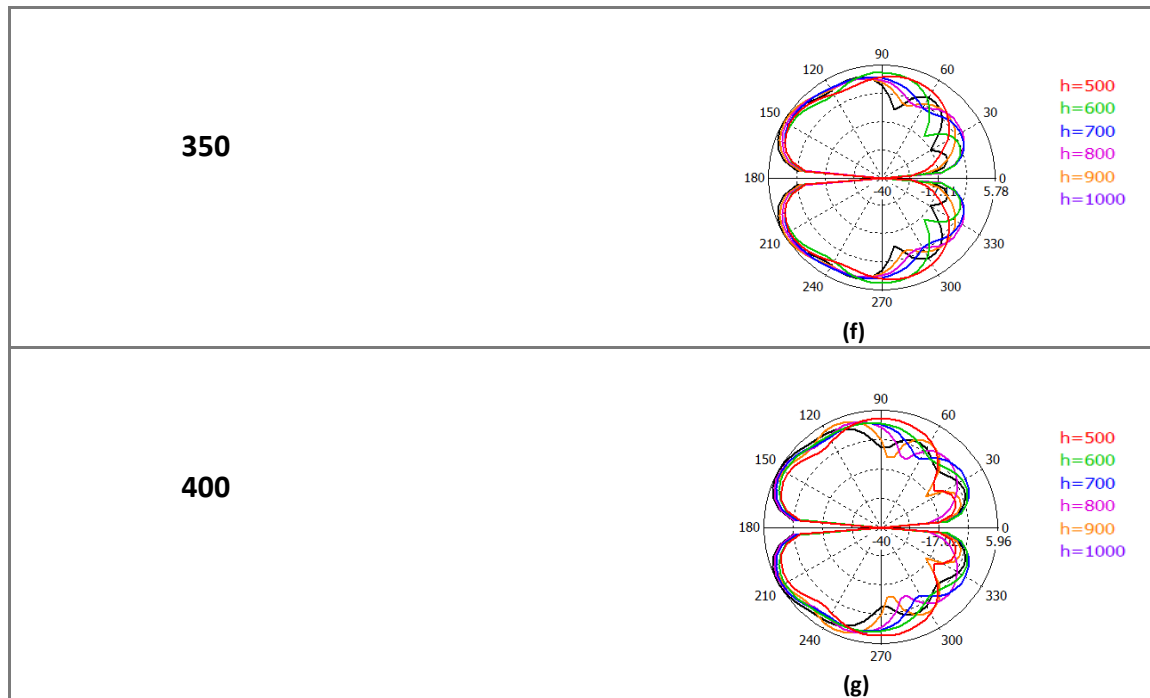
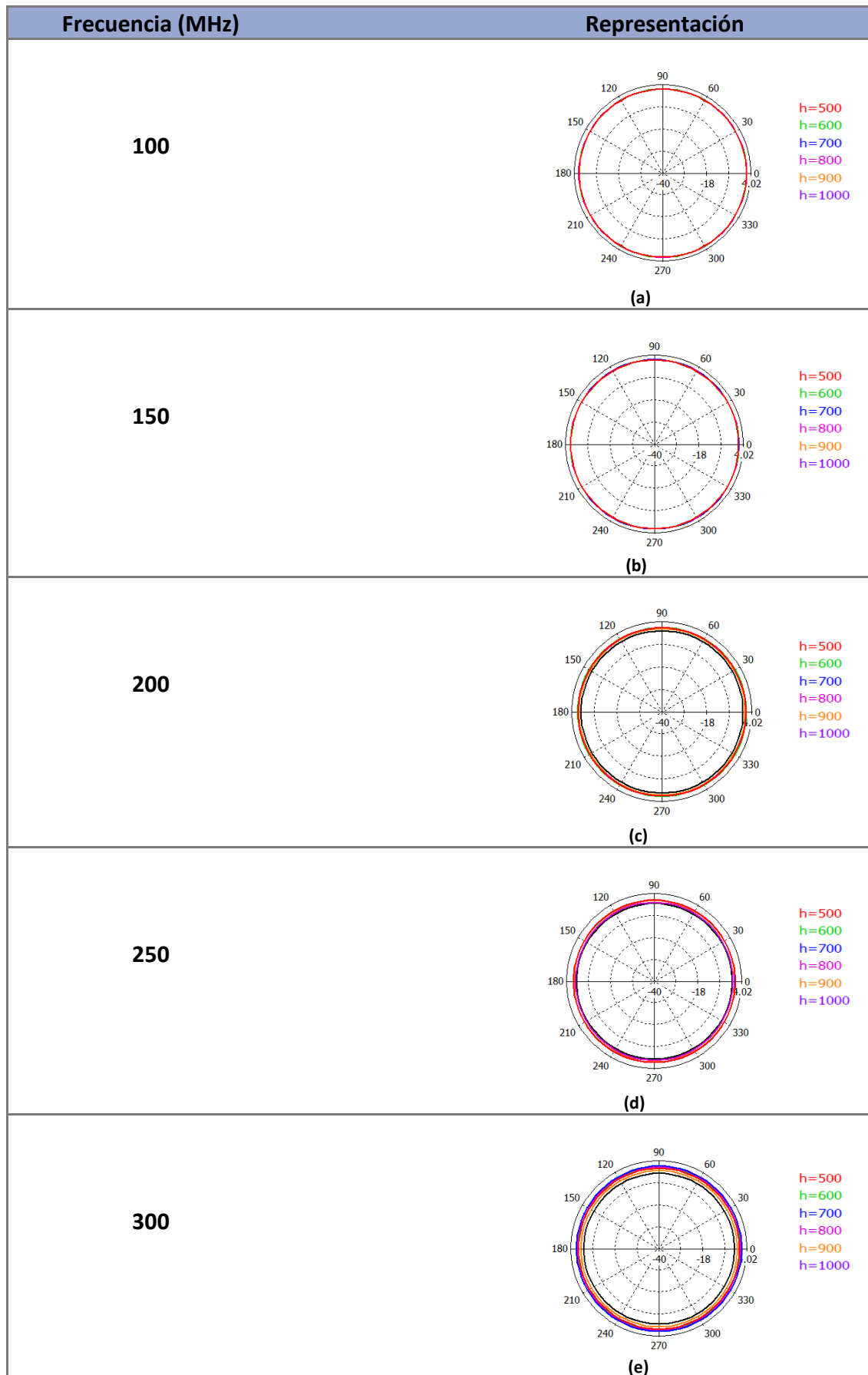


Figura III.4. Diagrama de radiación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro  $h$  (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz

En cuanto a las simulaciones mostradas en la Figura III.4, se puede apreciar que un aumento de frecuencia conlleva la aparición de lóbulos secundarios, siendo éstos más pronunciados a medida que aumenta la altura.

## Plano H



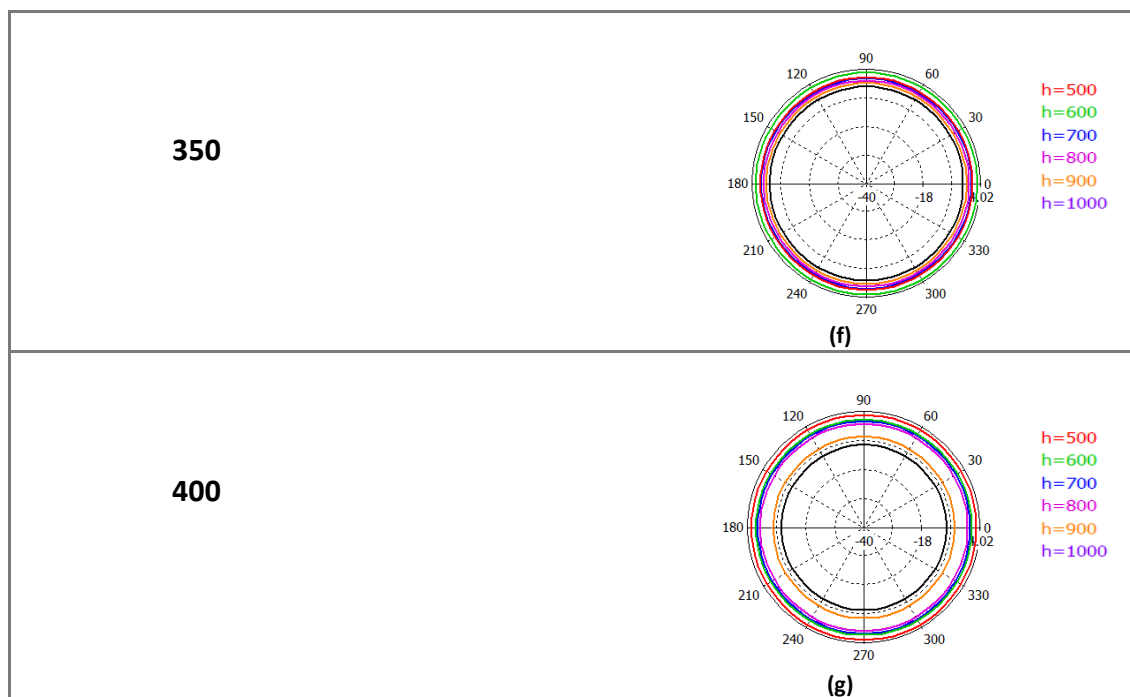


Figura III.5. Diagrama de radiación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro h (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz

Tras los resultados obtenidos en la Figura III.5, se observa que en los diagramas de radiación no se aprecia un gran cambio al aumentar la frecuencia salvo cuando la altura es elevada (Figura III.5 (g)).

Como conclusión, el parámetro h servirá para fijar el inicio de la banda de frecuencias que queramos diseñar. También cabe destacar que la estructura deja de radiar de forma dipolar a medida que aumenta en frecuencia.

### Ganancia

En la Figura III.6 se muestra la ganancia simulada para diferentes valores de h.

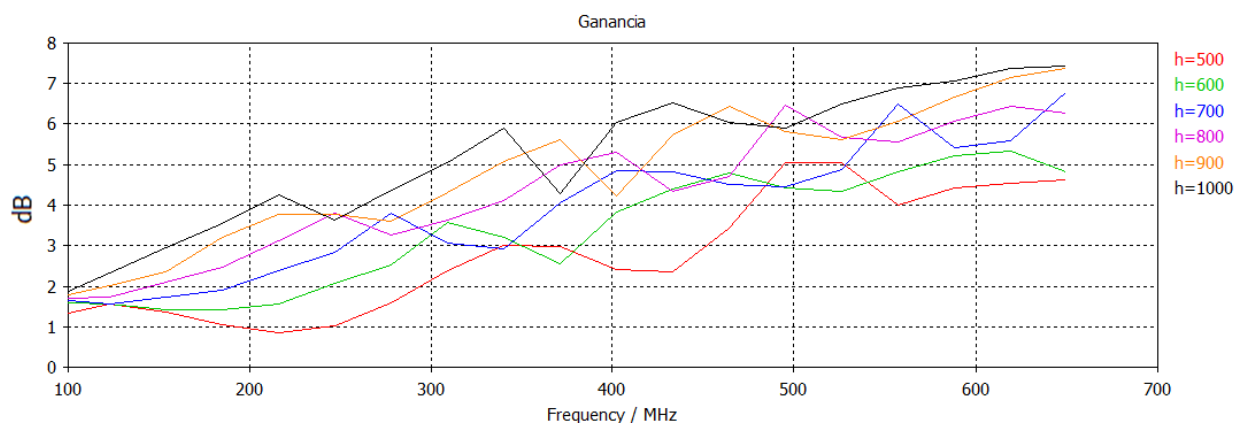


Figura III.6. Representación de la ganancia en función del parámetro h. Unidades h en mm



A medida que aumentamos en frecuencia, aumentamos la ganancia y en general, en todo el margen de frecuencias, la ganancia es mayor cuanto mayor es la altura de la antena.

### Directividad

A continuación en la Figura III.7 se muestra la directividad simulada para diferentes valores de  $h$ .

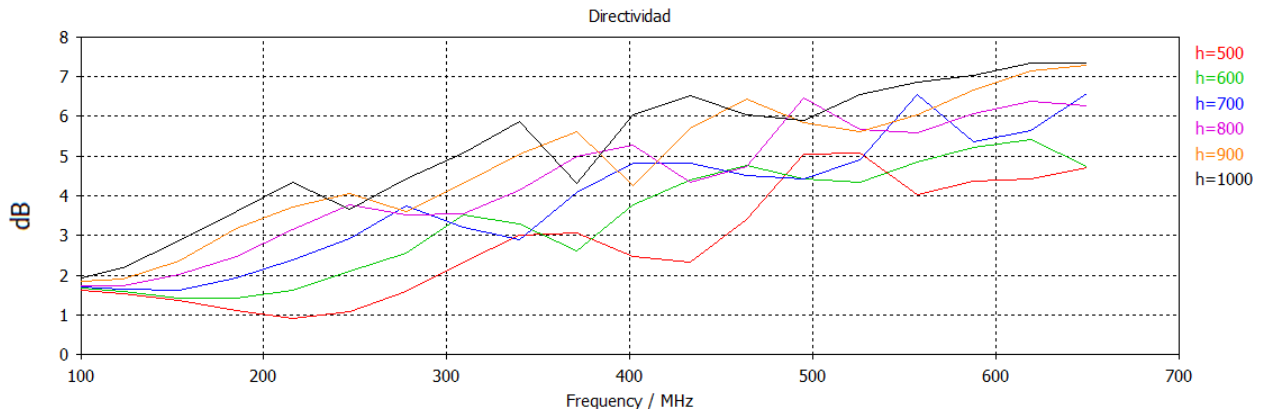


Figura III.7. Representación de la directividad en función del parámetro  $h$ . Unidades  $h$  en mm

Se puede concluir que sigue una tendencia ascendente al aumentar en frecuencia, siendo la directividad mayor cuanto mayor es la altura de la antena. Ésto es debido a que la antena es más grande en términos de  $\lambda$ , con lo que la apertura efectiva de la misma es mayor y, por lo tanto, la directividad también.

### Eficiencia de radiación

En la Figura III.8 se ilustra la eficiencia de radiación simulada para diferentes valores de  $h$ .

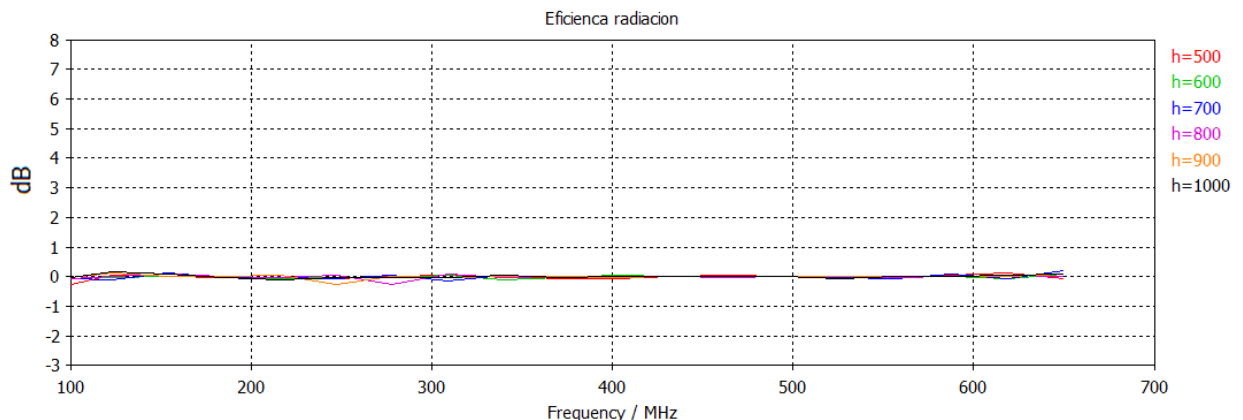


Figura III.8. Representación de la eficiencia de radiación en función del parámetro  $h$ . Unidades  $h$  en mm

La eficiencia de radiación es aproximadamente del 100% en todo el margen de frecuencias.

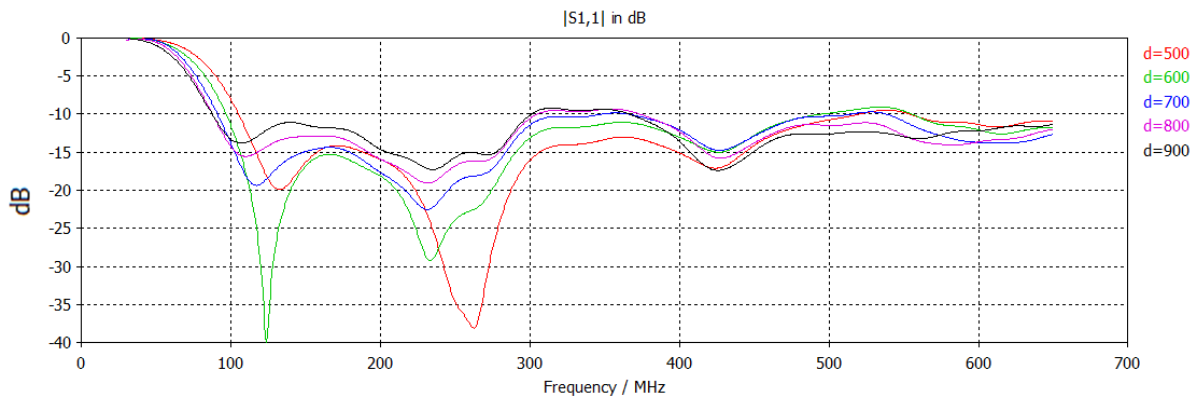
## ii. Parámetro “d”

Para realizar el análisis de este parámetro se han fijado los valores de los otros dos (h y Dmax):

- Dmax = 850 mm
- h = 750 mm

### Parámetro $S_{11}$

A continuación se muestra en la Figura III.9 el parámetro  $S_{11}$  simulado para diferentes valores de d.

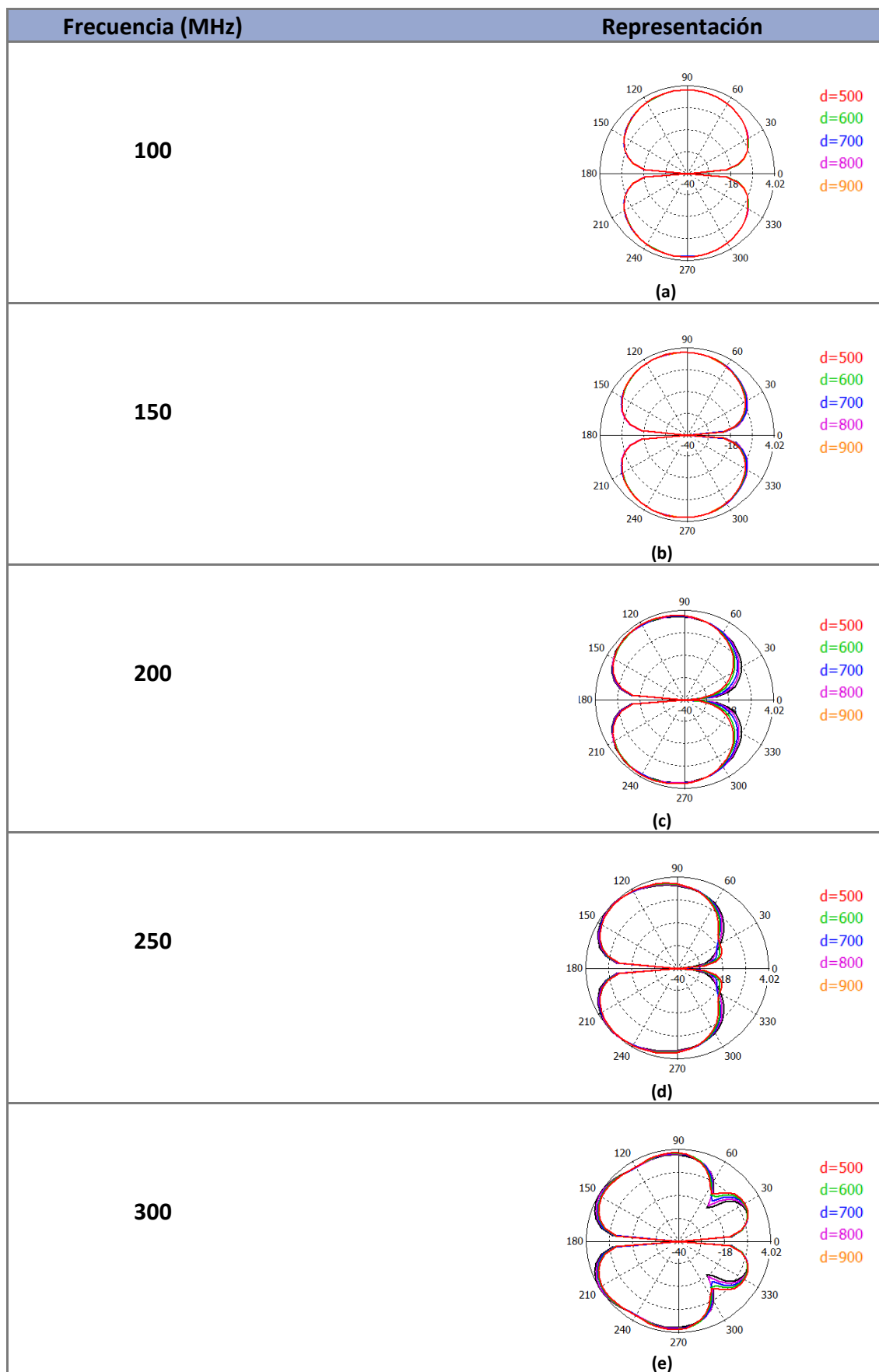


**Figura III.9. Representación de parámetro  $S_{11}$  en función del parámetro d. Unidades d en mm**

En la Figura III.9, en la que se representan seis de las simulaciones realizadas, se puede concluir que al disminuir el diámetro del disco, obtenemos una mejor adaptación de la antena.

A continuación se analizarán los diagramas de radiación en dos cortes (plano E y plano H) para distintas frecuencias, en cuyas representaciones cada color corresponderá a un valor de d, como se muestra en la Figura III.10.

## Plano E



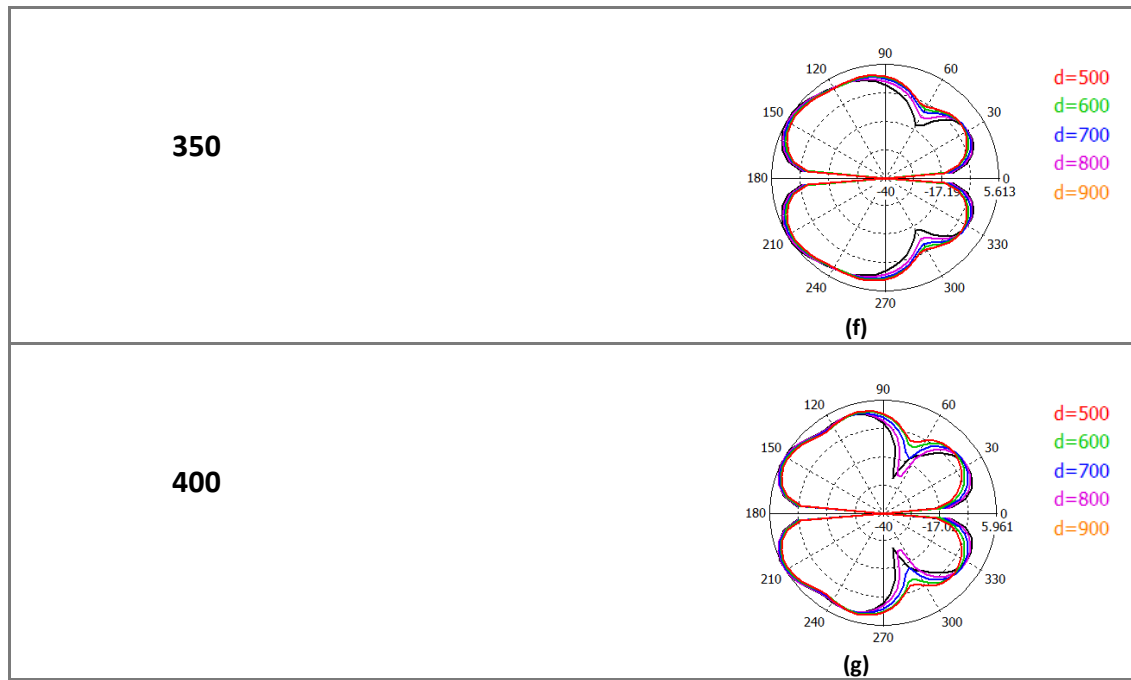
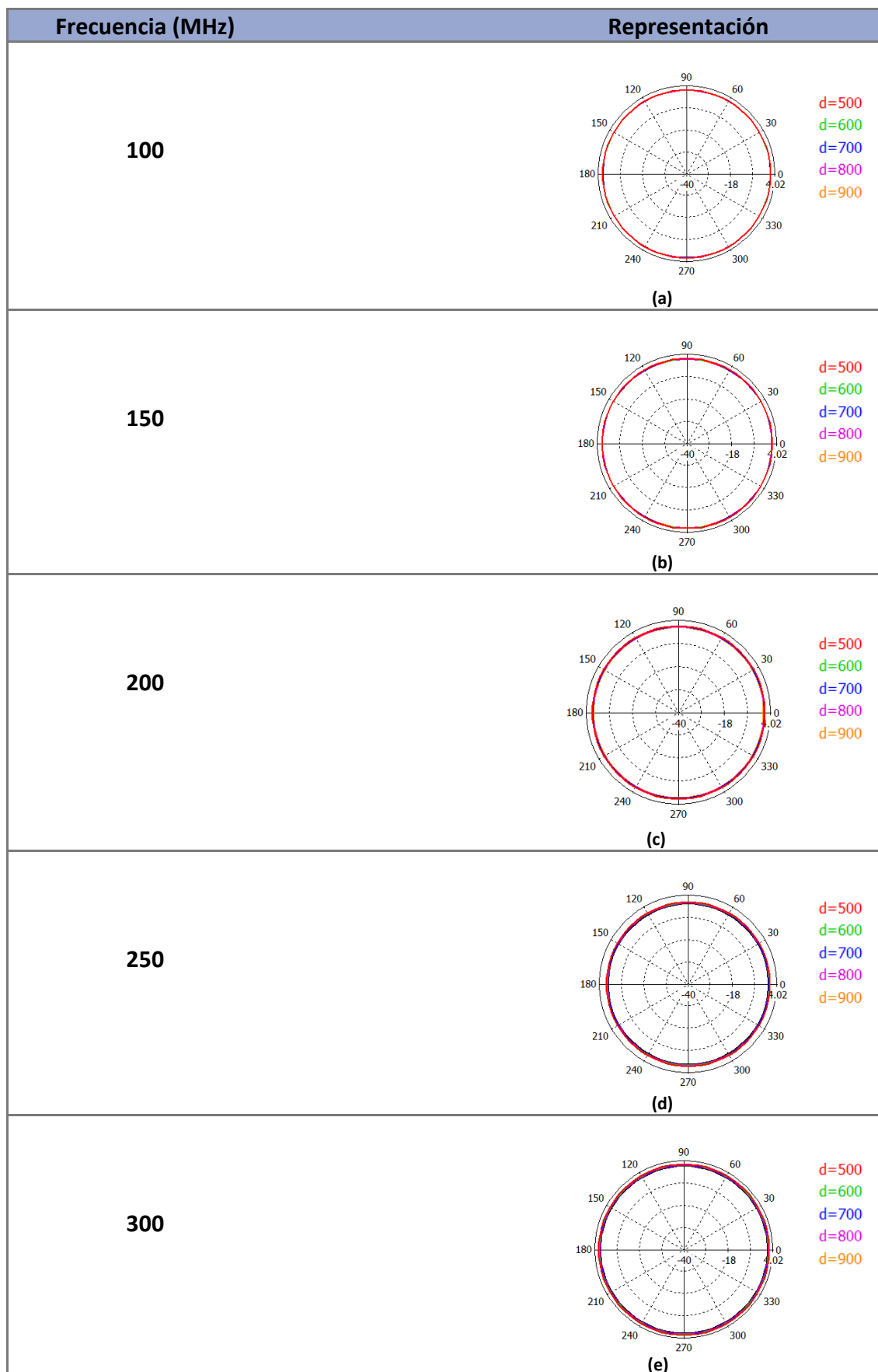


Figura III.10. Representación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro  $d$  (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz

Al observar las simulaciones de la Figura III.10, se puede concluir que a partir de 300 MHz aparecen lóbulos secundarios independientemente del tamaño del parámetro  $d$ . Se aprecia poca variación en el diagrama de radiación en el plano E cuando modificamos el diámetro del disco.

## Plano H



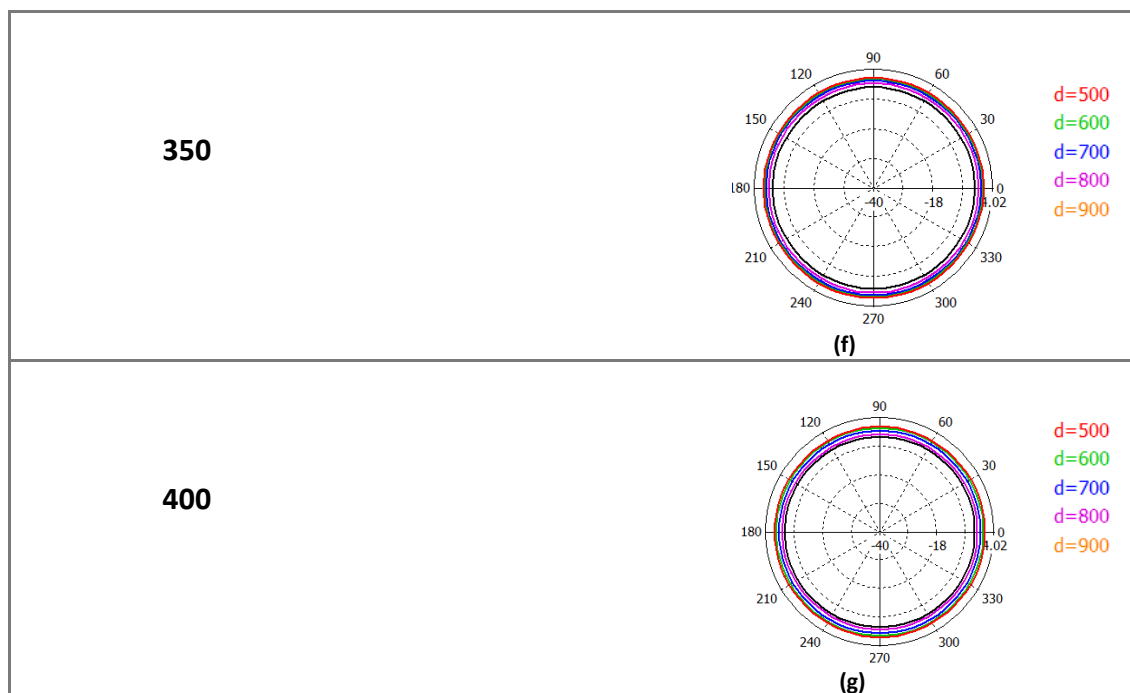


Figura III.11. Representación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro d (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz

Se aprecia que el aumento de la frecuencia y del parámetro d no repercute demasiado en el plano H (véase Figura III.11).

Como conclusión del parámetro d, observamos en el diagrama de radiación de ambos planos que el diámetro del disco tiene poca variación.

### Ganancia

A continuación se muestra la ganancia simulada para distintos valores de d.

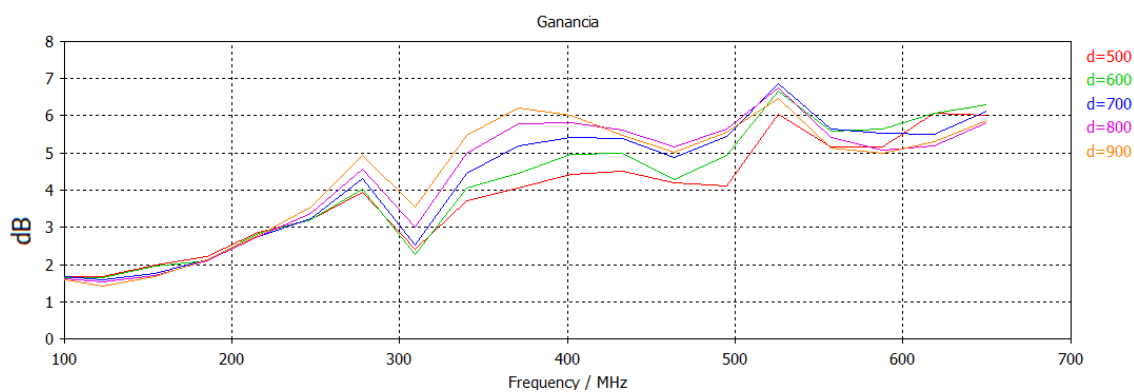


Figura III.12. Representación de la ganancia en función del parámetro d. Unidades d en mm

Después de observar los resultados de la Figura III.12, se puede concluir que a medida que aumentamos en frecuencia, aumentamos la ganancia. Así pues, sigue, al igual que en el análisis del parámetro  $h$ , una tendencia ascendente.

### Directividad

En la Figura III.13 se muestra la directividad simulada para distintos valores de  $d$ .

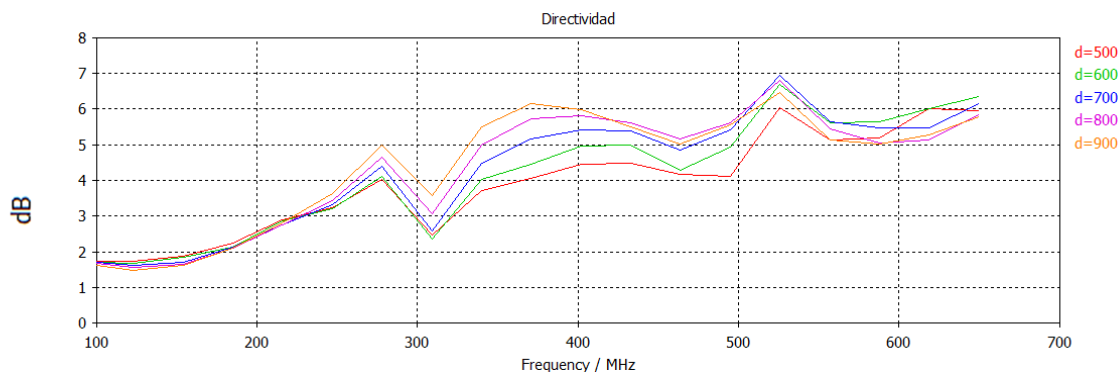


Figura III.13. Representación de la directividad en función del parámetro  $d$ . Unidades  $d$  en mm

Se puede concluir que a medida que aumentamos en frecuencia, aumentamos la directividad y en general, en todo el margen de frecuencias, la directividad es mayor cuanto mayor es el tamaño del diámetro del disco. Esto es debido a que la antena es más grande en términos de  $\lambda$ , con lo que la apertura efectiva de la misma es mayor y, por lo tanto, la directividad también.

### Eficiencia de radiación

A continuación se muestra la eficiencia de radiación simulada para distintos valores de  $d$ .

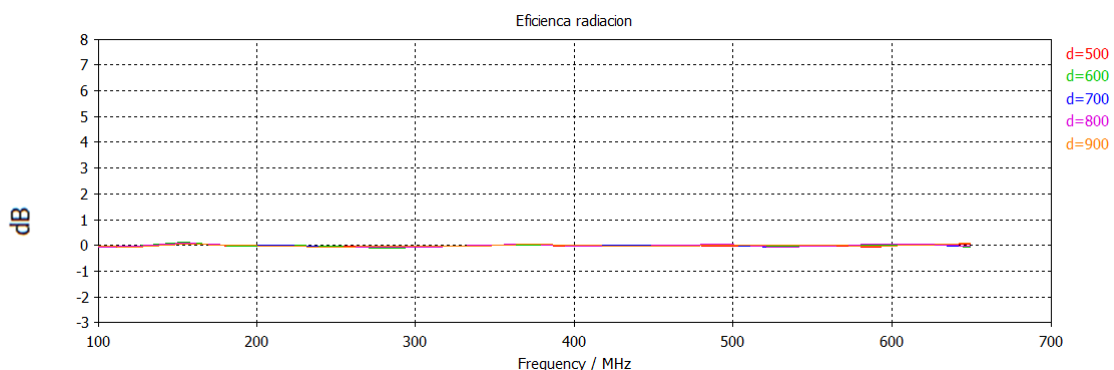


Figura III.14. Representación de la eficiencia de radiación en función del parámetro  $d$ . Unidades  $d$  en mm

La eficiencia de radiación recogida en la Figura III.14 es aproximadamente del 100% en todo el margen de frecuencias.

### iii. Parámetro “Dmax”

Para realizar el análisis de este parámetro, se han fijado los valores de los otros dos (d y h):

- h = 750 mm
- d = 600 mm

#### Parámetro $S_{11}$

En la Figura III.15 se muestra el parámetro  $S_{11}$  simulado para distintos valores de Dmax.

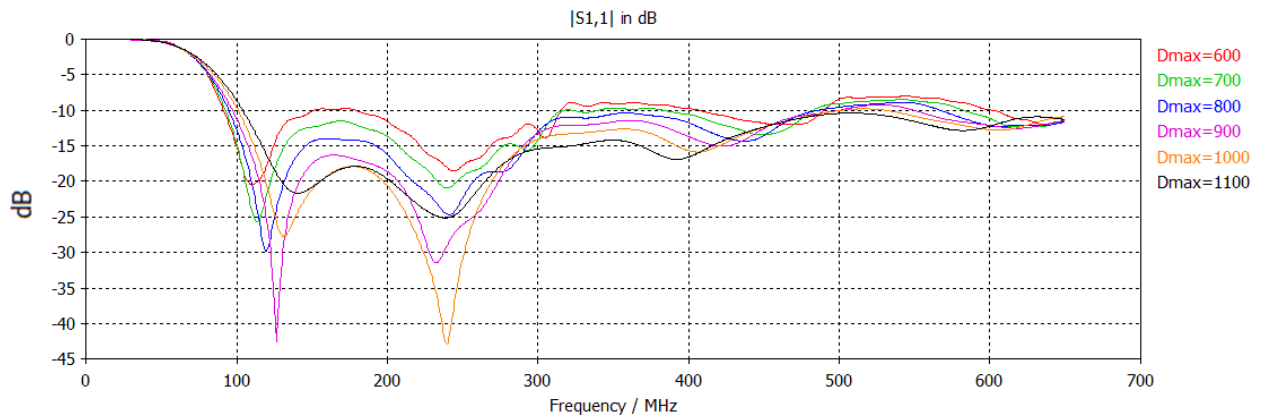


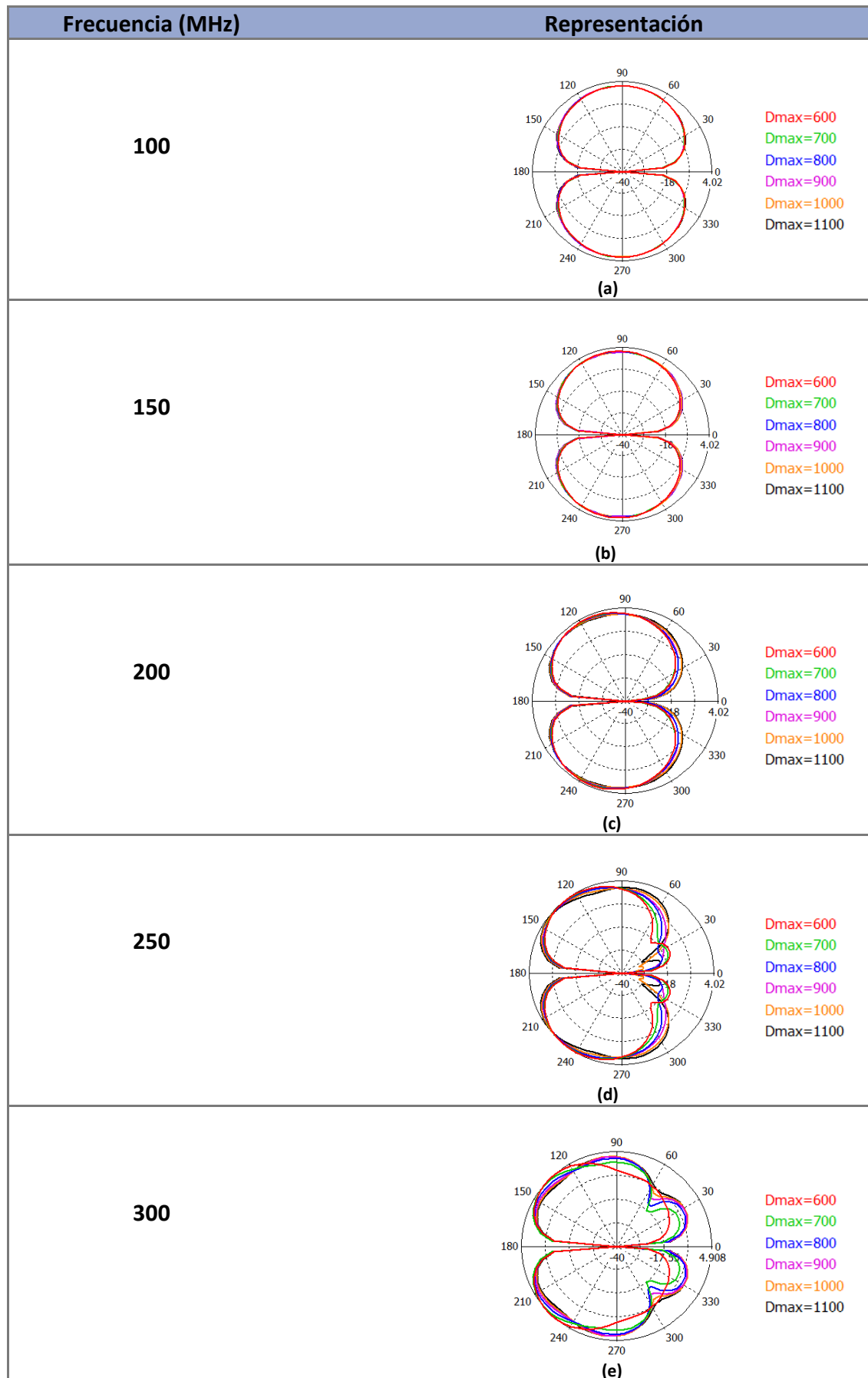
Figura III.15. Representación del parámetro  $S_{11}$  en función del parámetro Dmax. Unidades Dmax en mm

En la Figura III.15 se pueden observar seis de las simulaciones realizadas, pudiéndose concluir que al aumentar el diámetro inferior del cono, obtenemos una mejor adaptación de la antena.

A continuación se analizarán los diagramas de radiación de la antena en dos cortes (Plano E y plano H) para distintas frecuencias, en cuyas representaciones cada color corresponderá a un valor de Dmax, como se muestra en la Figura III.16.



## Plano E



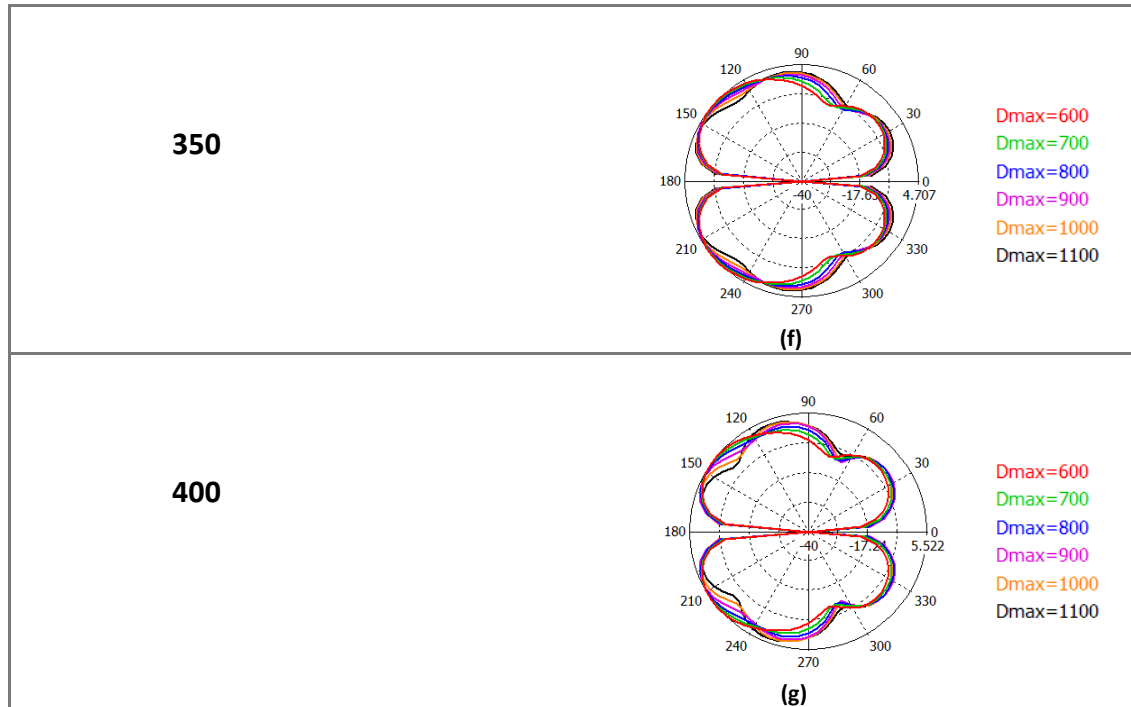
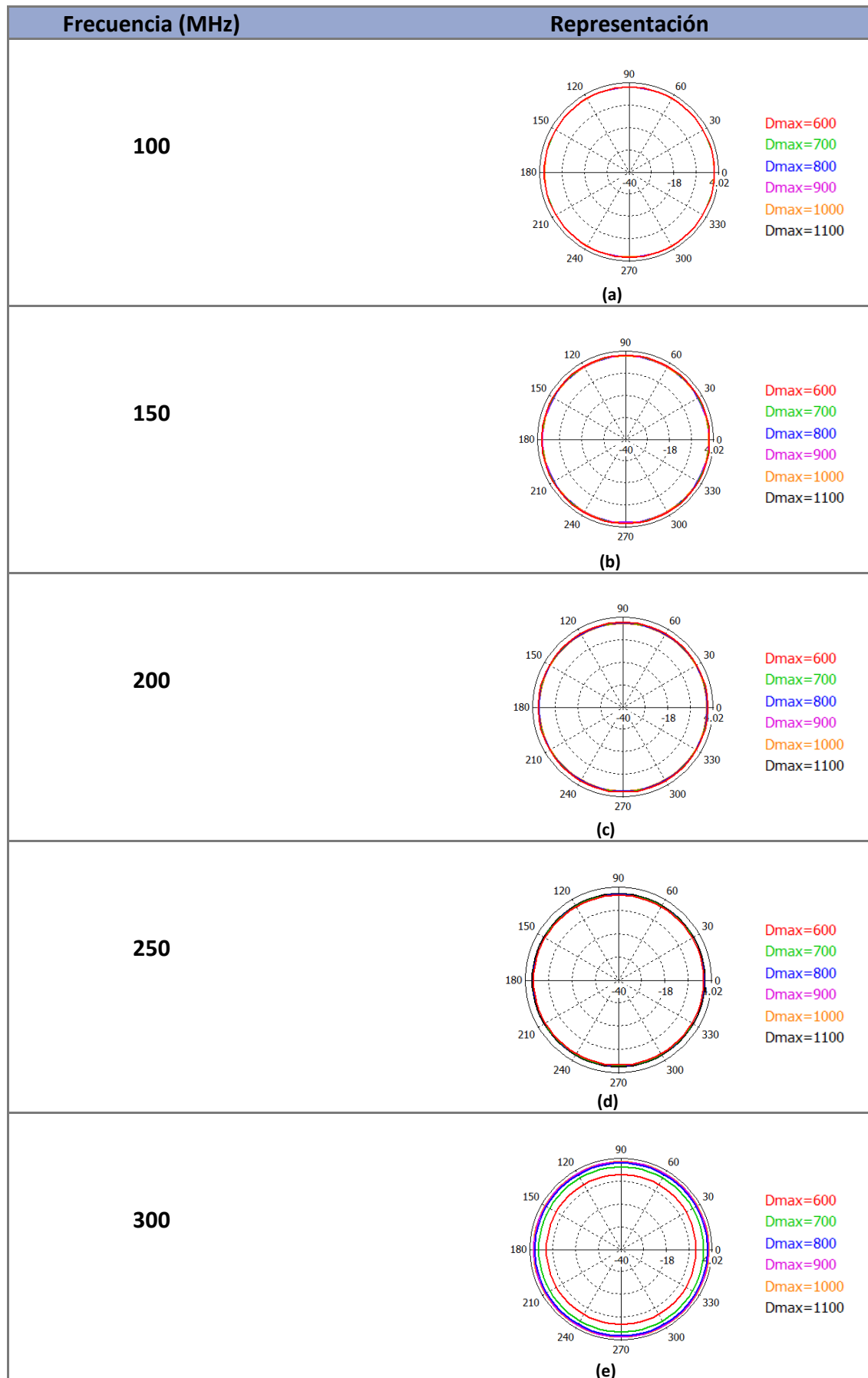


Figura III.16. Representación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro Dmax (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz

En la Figura III.16, se puede observar que a partir de 250 MHz aparecen lóbulos secundarios independientemente del tamaño del parámetro Dmax. Esto es debido a que al aumentar en frecuencia y al ser una estructura grande el comportamiento eléctrico deja de ser dipolar.

## Plano H



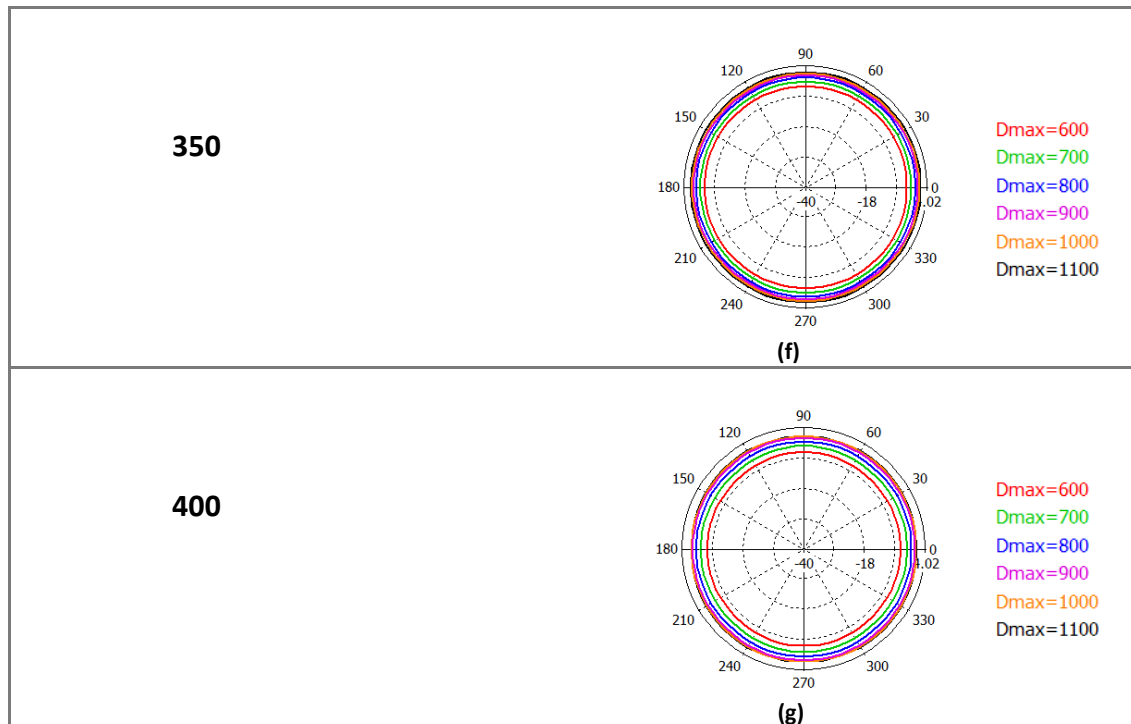


Figura III.17. Representación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro Dmax (a) 100 MHz (b) 150 MHz (c) 200 MHz (d) 250 MHz (e) 300 MHz (f) 350 MHz (g) 400 MHz

Al observar las simulaciones de la Figura III.17, se aprecia que el aumento de la frecuencia y del parámetro Dmax no repercute demasiado en el plano H. El nivel de adaptación es ligeramente mayor a medida que se aumenta el parámetro a partir de 300 MHz aproximadamente.

### Ganancia

En la Figura III.18 se muestra la ganancia simulada para distintos valores de Dmax.

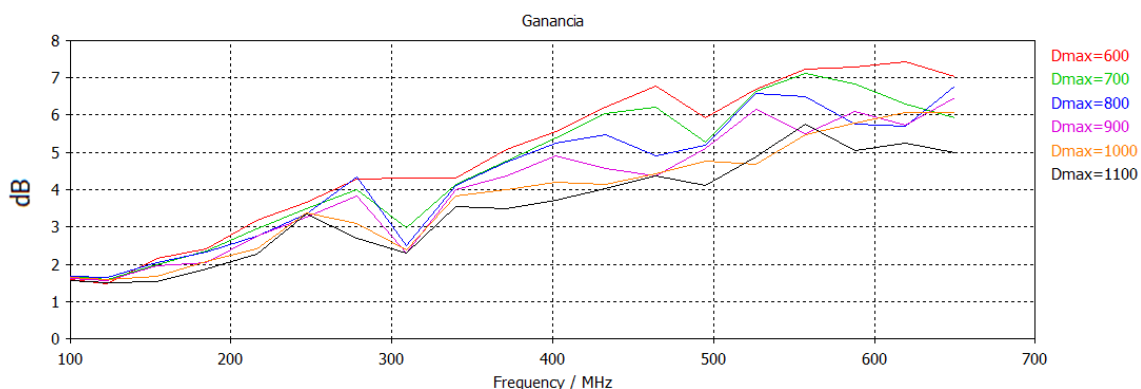


Figura III.18. Representación de la ganancia en función del parámetro Dmax. Unidades Dmax en mm

Como se observa en la Figura III.18, la ganancia crece linealmente con la frecuencia. Al contrario que ocurría con el parámetro  $d$ , en este caso la ganancia es mayor cuanto menor es el diámetro inferior del cono ( $D_{\max}$ ).

### Directividad

En la Figura III.19 se muestra la ganancia simulada para distintos valores de  $D_{\max}$ .

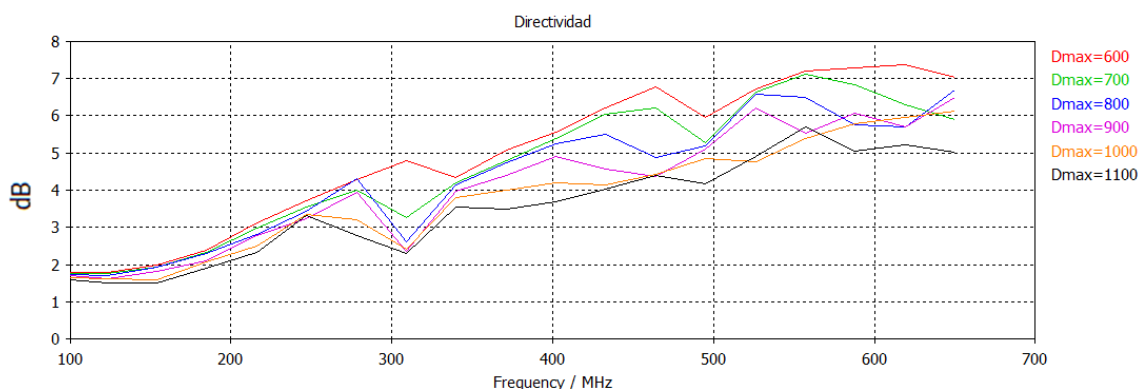


Figura III.19. Representación de la directividad en función del parámetro  $D_{\max}$ . Unidades  $D_{\max}$  en mm

En cuanto a la directividad, se observa en la Figura III.19 que a medida que aumentamos en frecuencia, aumentamos la directividad y en general, en todo el margen de frecuencias, la directividad es mayor cuanto menor es el diámetro inferior del cono ( $D_{\max}$ ).

### Eficiencia de radiación

En la Figura III.20 se ilustra la ganancia simulada para distintos valores de  $D_{\max}$ .

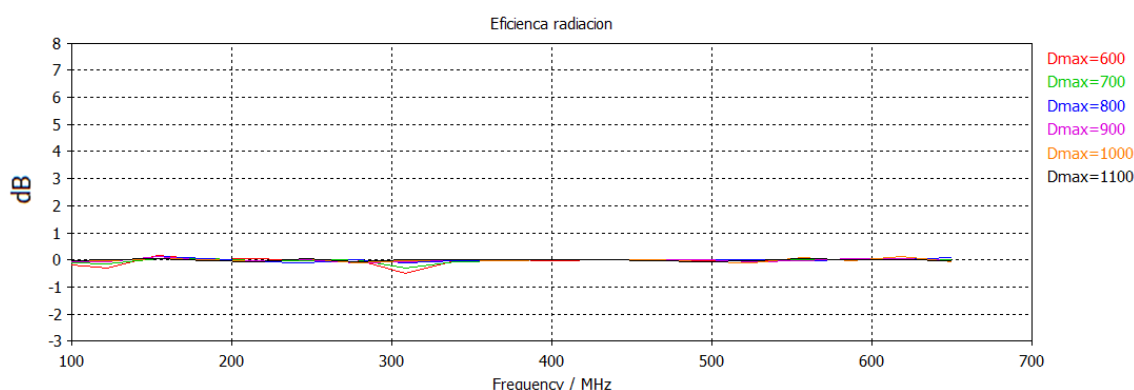


Figura III.20. Representación de la eficiencia de radiación en función del parámetro  $D_{\max}$ . Unidades  $D_{\max}$  en mm

La Figura III.20 muestra que la eficiencia de radiación es aproximadamente del 100% en todo el margen de frecuencias.

### 3.3. Prototipo final

En este apartado se va a describir el prototipo final de la antena discono después de haber llevado a cabo los análisis paramétricos del apartado anterior y un proceso de optimización. El valor de los parámetros elegidos se muestra en la Tabla III.2.

Tabla III.2. Medidas del prototipo final

Parámetro	Medida (mm)
<b>h</b>	750
<b>d</b>	600
<b>Dmax</b>	850

Con estas medidas, el prototipo final se ilustra en la Figura III.21.

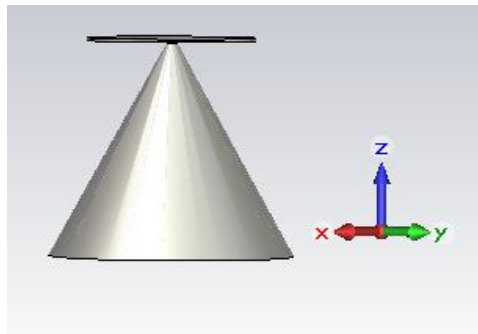


Figura III.21. Representación gráfica del prototipo final

A continuación se muestran los resultados obtenidos en simulación del parámetro  $S_{11}$ , ganancia, directividad y eficiencia de radiación. También se muestra una ilustración en 3D del diagrama de radiación de la antena. Por último, veremos qué ocurre cuando variamos el espesor de la estructura y la repercusión que tiene en el parámetro  $S_{11}$ . Si obtenemos las mismas prestaciones con un espesor más reducido, haremos que la estructura pese menos, cumpliendo uno de los requerimientos iniciales, y sea más fácil su transporte así como su fabricación.

Parámetro  $S_{11}$ 

En la Figura III.22 se muestra el parámetro  $S_{11}$  del prototipo final.

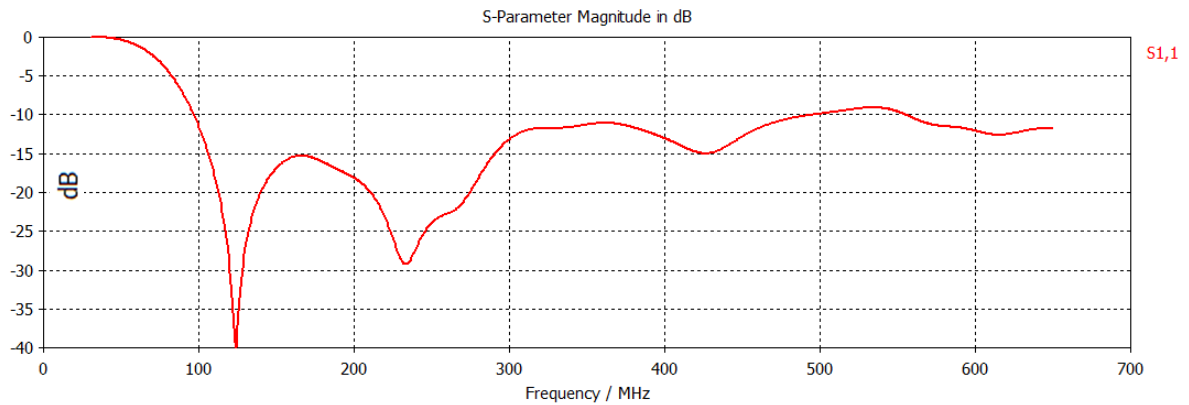


Figura III.22. Parámetro  $S_{11}$  del prototipo final

Como se puede observar en la Figura III.22 se obtiene un ancho de banda en adaptación desde 100 MHz hasta 500 MHz aproximadamente.

Ganancia

En la Figura III.23 se muestra la ganancia del prototipo final.

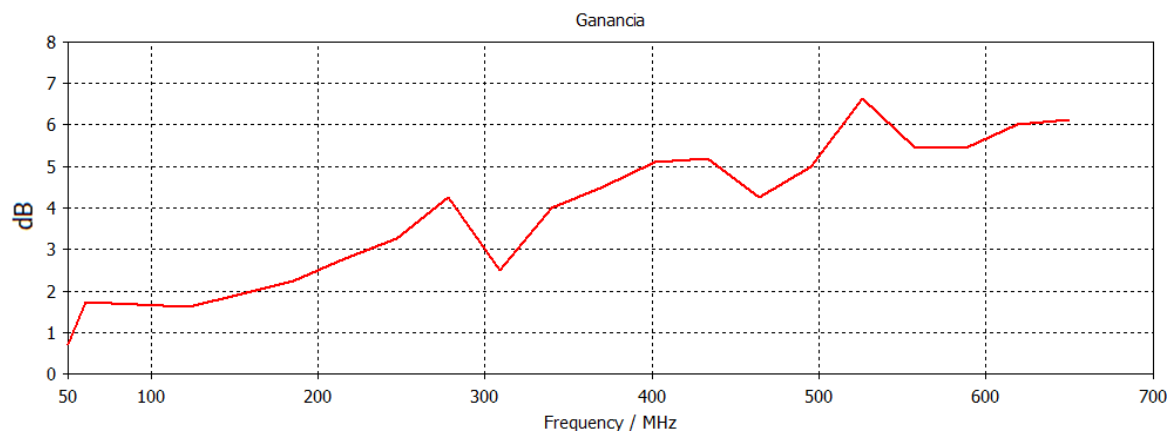
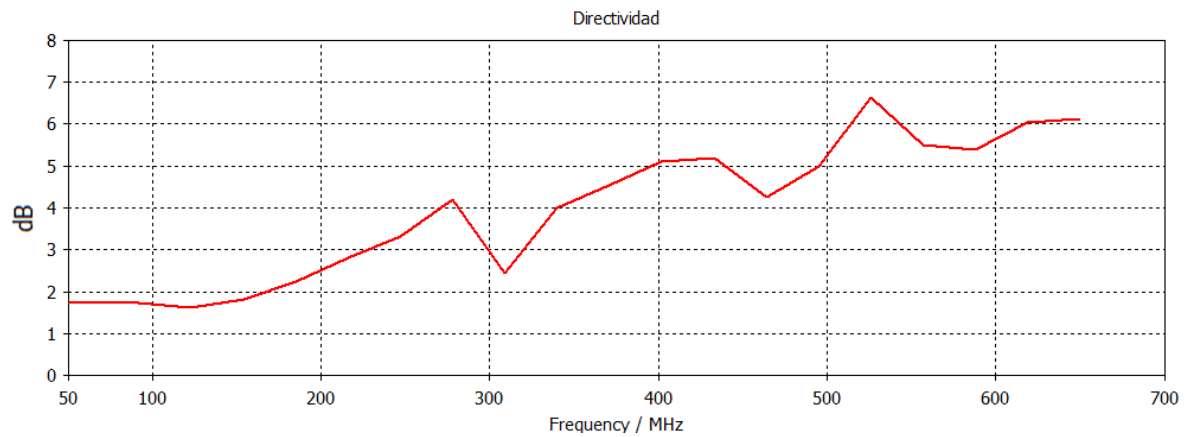


Figura III.23. Representación de la ganancia del prototipo final

La ganancia ilustrada en la Figura III.23 muestra que a medida que aumentamos en frecuencia, aumenta la ganancia.

### Directividad

En la Figura III.24 se muestra la directividad del prototipo final.

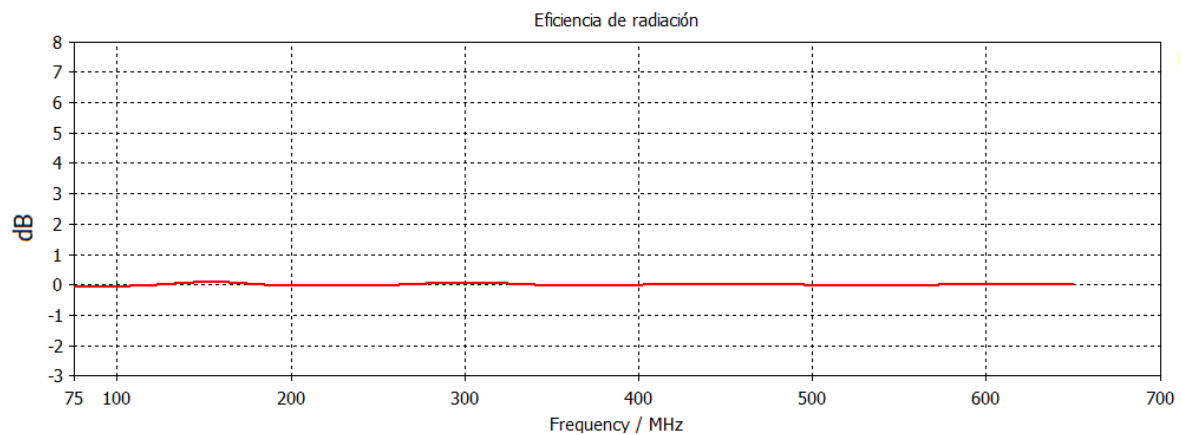


**Figura III.24. Representación de la directividad del prototipo final**

En la Figura III.24, se observa la directividad del prototipo final, y al igual que la ganancia, tiene un carácter lineal a medida que aumentamos en frecuencia.

### Eficiencia de radiación

En la Figura III.25 se muestra la eficiencia de radiación del prototipo final.



**Figura III.25. Representación de la eficiencia de radiación del prototipo final**

En cuanto a la eficiencia de radiación de la Figura III.25, en general es del 100% en todo el margen de frecuencias. En algunas de ellas se observa que la eficiencia de radiación es ligeramente superior a 0 dB. Eso es debido a un error de software de simulación, ya que la antena no puede tener una eficiencia de radiación superior al 100%.



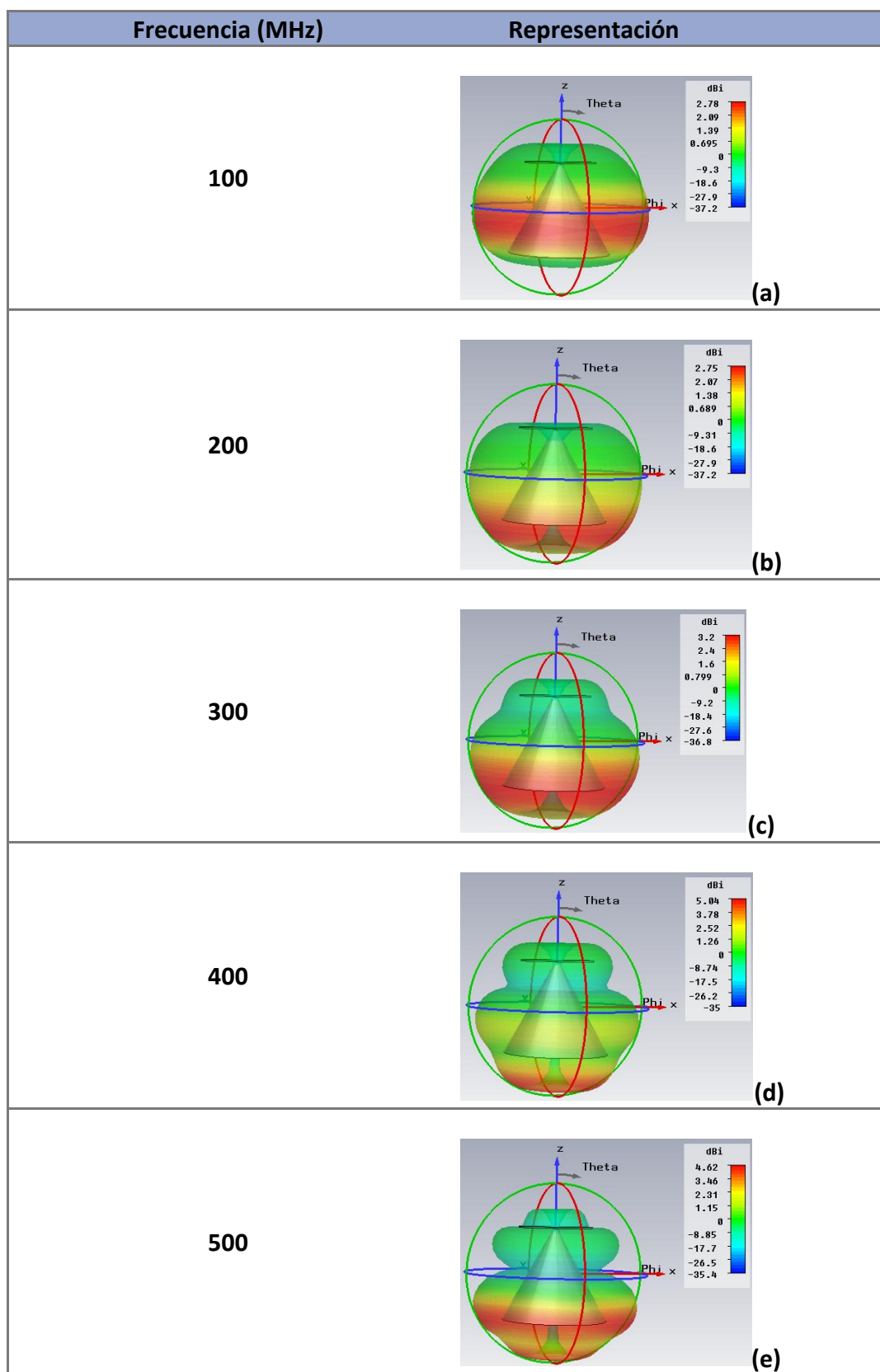
Diagrama de radiación

Figura III.26. Representación del diagrama de radiación en distintas frecuencias del prototipo final (a) 100 MHz (b) 200 MHz (c) 300 MHz (d) 400 MHz (e) 500 MHz

Tras observar los resultados de la Figura III.26, se puede concluir que al aumentar la frecuencia el diagrama de radiación pierde su diagrama de radiación dipolar y aparecen lóbulos secundarios. Así mismo, la radiación hacia  $\theta > 90^\circ$  aumenta.

### 3.3.1. Influencia del espesor

A continuación se va a proceder a observar qué ocurre al variar el espesor de las láminas de aluminio utilizado en la estructura. Los resultados de la Figura III.27 muestran que al variar el espesor de las láminas que componen la estructura, el parámetro  $S_{11}$  no se ve afectado. Como conclusión, será posible la fabricación de la antena con el menor espesor posible y sus características en términos de adaptación serán las mismas.

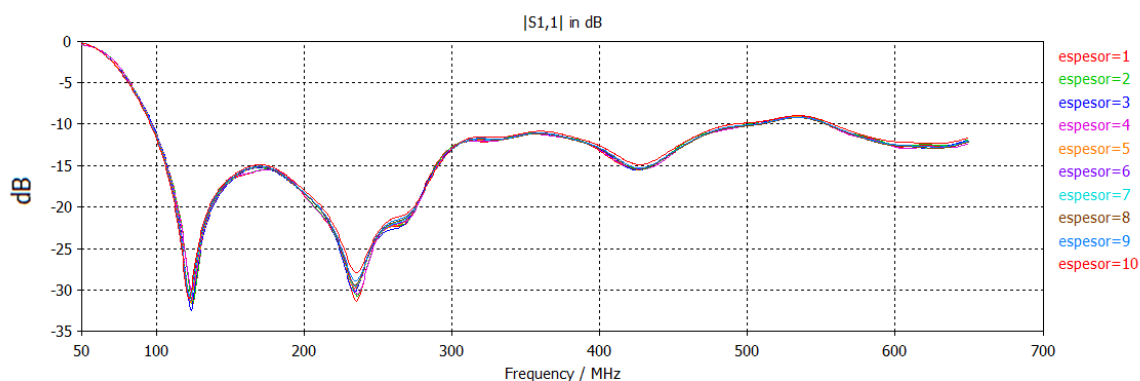


Figura III.27. Representación del parámetro  $S_{11}$  observando la variación del espesor. Unidades espesor en mm

En la Figura III.28 se muestra una gráfica que relaciona el peso de la antena con su espesor. El material utilizado para la fabricación de la antena es el aluminio, cuya densidad es de  $2700 \text{ kg/m}^3$ .

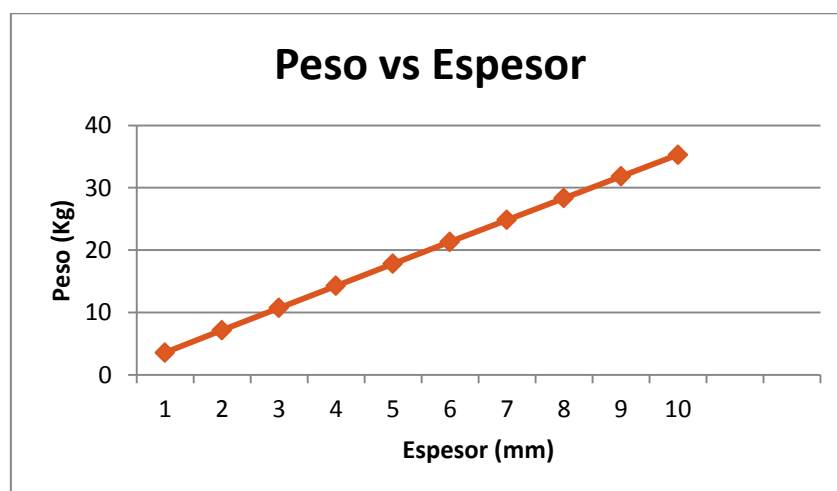


Figura III.28. Representación del peso en función del espesor

### **3.4. Conclusiones**

Al comienzo de este capítulo se ha contextualizado la antena discono nombrando las características, aplicaciones y funcionamiento de la misma. Seguidamente, se ha realizado un estudio de aquellos parámetros que se han considerado importantes para la optimización de la antena. Finalmente se ha propuesto un prototipo final que cumple con los requisitos de la antena mencionados en el apartado 3.2.1.

Después de analizar el prototipo final, se observa que las dimensiones de la antena son demasiado grandes para su fabricación y futura implantación en un avión. Gracias al estudio realizado se puede extraer que podemos fabricar la antena con el mínimo espesor posible y ésta funcionará en el mismo margen de frecuencias, obteniendo las mismas prestaciones. Este hecho beneficia en gran medida al factor crítico del peso de la antena para aplicaciones aeroespaciales.

Por lo tanto, en el siguiente capítulo se realizará una miniaturización de la antena propuesta y se intentarán alcanzar los mismos requerimientos.



***Capítulo IV***  
***Miniaturización de la antena***  
***discono***



**CAPÍTULO IV**

**Miniaturización de la antena discono**

En el presente capítulo se va a abordar la miniaturización de la antena propuesta en el capítulo anterior. El motivo por el cual se realiza esta miniaturización es el tamaño que presenta la antena, teniendo casi un metro de alto y de ancho, lo que hace muy complicado su integración en un avión.

Para realizar la miniaturización, se propone la topología presentada en [9] y se ha implementado una aproximación del diseño descrito. Primeramente, se va a realizar un estudio de cada parte que forma la antena y finalmente se ensamblarán todas y veremos el comportamiento final de la antena.

La última parte del capítulo se centra en el análisis y optimización de un prototipo del sistema que intente tener el mismo ancho de banda que el de estructura del capítulo anterior y al mismo tiempo que reduzca el tamaño de la estructura.

#### **4.1. Funcionamiento de la antena miniaturizada**

En este apartado se va a describir el funcionamiento de la antena miniaturizada que consiste en reducir la altura de la estructura incorporando diferentes elementos que hagan que funcione de forma parecida a la del capítulo anterior. Sin embargo, la reducción de la altura implica una reducción en el ancho de banda [15]. Para resolver este problema las tres estructuras mencionadas en [9] son:

- i. Discono con cavidad exterior.
- ii. Discono con cavidad exterior e interior.
- iii. Discono con cavidad exterior y disco superior.

Tras analizar las tres partes por separado, se ensamblarán y se observará el resultado final de la antena.

#### 4.1.1. Discono con cavidad exterior

En este primer paso, la antena se ha introducido en una cavidad y así se consigue reducir notablemente su altura (véase Figura IV.1). El uso de la cavidad en antenas para aplicaciones aeroespaciales es frecuente, ya que hace que la estructura sea más robusta y el efecto del fuselaje del avión sea menor.

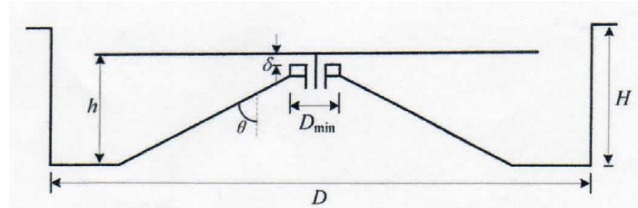


Figura IV.1. Discono con cavidad exterior [9]

#### 4.1.2. Discono con cavidad exterior e interior

El segundo paso para la miniaturización de la antena según [9] es realizar una cavidad interior paralela a la cavidad exterior en contacto con la base del cono (véase Figura IV.2). Esta cavidad hace que el disco esté sujeto mediante tres postes equidistantes separados  $120^\circ$ . Esta estructura es conocida por “*short-circuited structure*” ya que proporciona una corriente entre el disco y la tierra unidos por los postes.

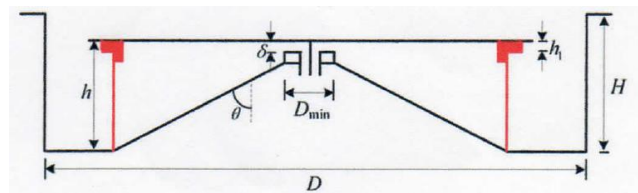


Figura IV.2. Discono con cavidad exterior e interior [9]



#### 4.1.3. Discono con cavidad exterior y disco superior

La última parte para hacer que la antena funcione correctamente es colocar un disco superior uniéndose al que ya estaba mediante dos aros concéntricos como ilustra la Figura IV.3. Los dos discos están sujetos mediante dos aros concéntricos. La funcionalidad del aro más pequeño es que aguante el disco de arriba sin que se hunda, una función de soporte mecánico.

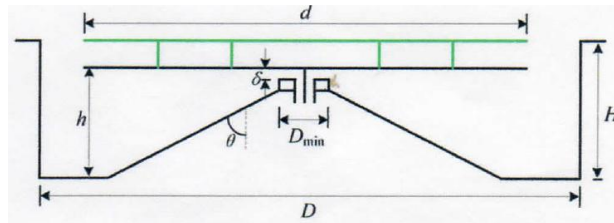


Figura IV.3. Discono con cavidad exterior y disco superior [9]

#### 4.1.4. Antena completa

La Figura IV.4 muestra la antena que se va a optimizar formada por las tres partes anteriormente descritas. En ella se puede observar la cavidad exterior que encierra toda la estructura, la cavidad interior o “*short-circuited structure*” y el disco superior.

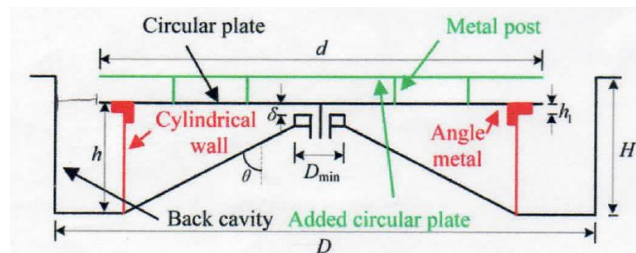


Figura IV.4. Esquemático de la antena de tipo discono propuesto en [9]

En la Figura IV.5 se observa la ROE de las distintas partes de la antena simuladas. La línea verde, correspondiente a la simulación realizada con el esquemático del apartado 4.1.1, se encuentra por debajo de 2.5 en toda la banda (criterio utilizado por [8]). Para ver el efecto que produce la estructura del apartado 4.1.2, se tiene que prestar atención a la línea de color azul que está por debajo de los 2.5 desde 310 a 348 MHz. Esto es debido a que la estructura cambia la corriente de distribución de la cavidad original y reduce las reflexiones gracias al efecto “*fringing*”<sup>3</sup> del plato superior. Con la estructura de los dos platos del apartado 4.1.3, se mejora la ROE y su valor es menor que 2.5 en la banda de 300 a 330 MHz y desde 462 a 493 MHz. Esto es debido a que la estructura no solo cambia la corriente de distribución, sino que también aumenta la longitud eléctrica efectiva de la antena. Por último la línea roja muestra el resultado final de todas las partes de la antena.

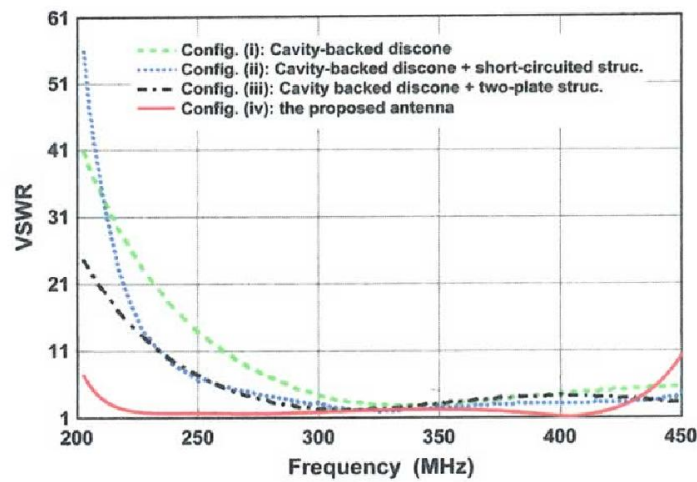


Figura IV.5. ROE de las distintas partes del proceso de miniaturización

En el siguiente apartado, se va a llevar a cabo un estudio paramétrico para ver la influencia de cada parámetro en el comportamiento global de la antena. Una vez vista la influencia de cada parámetro, se diseñará un prototipo final en la banda de funcionamiento deseada.

<sup>3</sup> Efecto producido por el campo eléctrico en los bordes de las estructuras.

## 4.2. Primer diseño

En este apartado se realizará un análisis siguiendo las mismas líneas de razonamiento que las expuestas en el tercer capítulo. Por lo tanto, se realizará un análisis paramétrico para lograr asemejar las condiciones al discono del capítulo anterior. Para todas las simulaciones que se muestran a continuación, el espesor de las placas de aluminio que forman la antena será de 1,5 cm.

### 4.2.1. Análisis paramétrico

Los parámetros que se va a analizar son los siguientes:

- i. Diámetro de los discos (en adelante “d”).
- ii. Altura de la cavidad exterior (en adelante “a”).
- iii. Altura de los tres postes equidistantes que unen la cavidad exterior con el disco (en adelante “altura poste”).

#### i. Parámetro “d”

Para realizar el análisis de este parámetro, se han fijado los valores de los otros dos:

- $a = 141 \text{ mm}$
- altura poste = 15 mm

#### Parámetro $S_{11}$

A continuación se muestra el parámetro  $S_{11}$  del parámetro d.

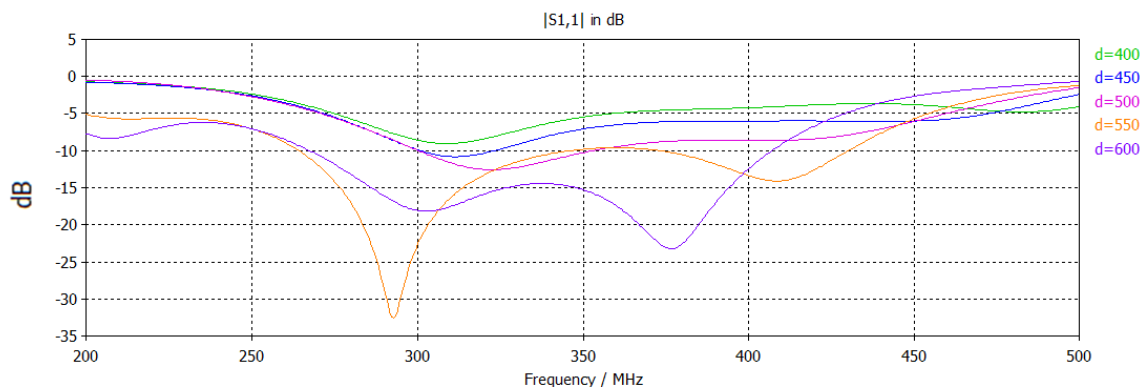
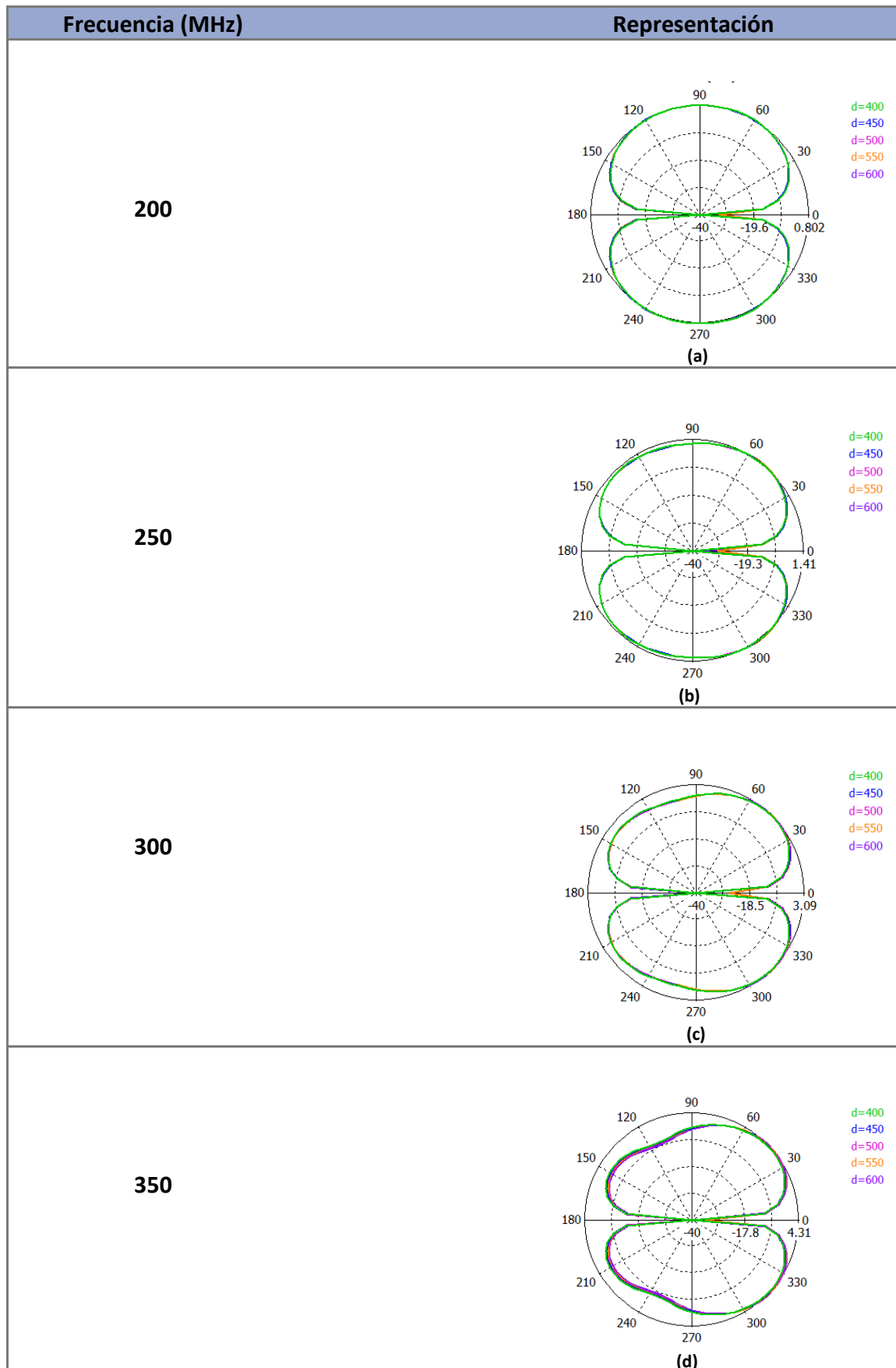


Figura IV.6. Parámetro  $S_{11}$  en función del parámetro d. Unidades d en mm

En la Figura IV.6 se puede observar la variación del parámetro  $S_{11}$  en función del tamaño del disco. Para los valores de 400, 450 y 500 mm, dado que el disco no descansa sobre los postes de la cavidad interior, no se forma la estructura de corto circuito mencionada en el apartado 4.1.2.

Plano E



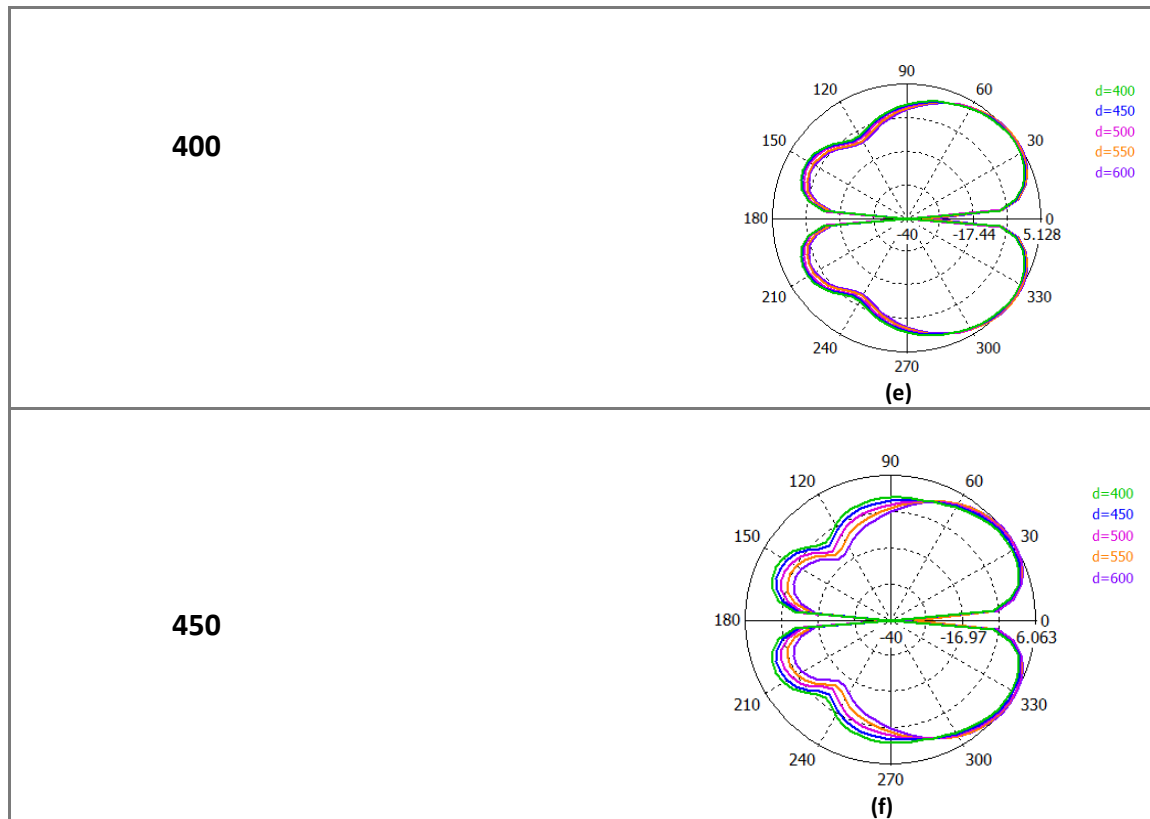
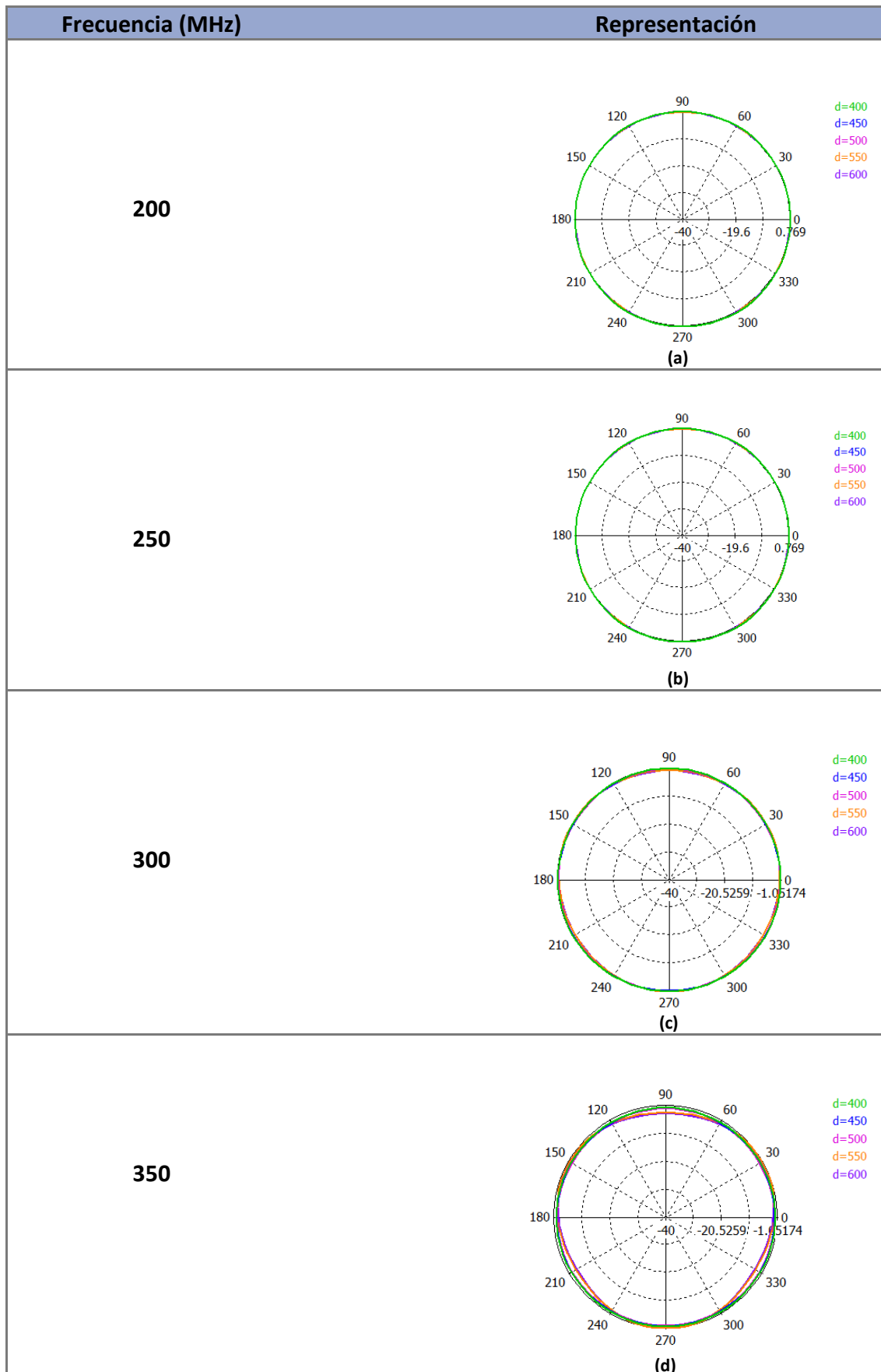


Figura IV.7. Representación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro d (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz

Para ver la evolución del parámetro d en el plano E, éste se muestra en la Figura IV.7 en distintas frecuencias. Se puede observar que al aumentar en frecuencia la estructura pierde la forma dipolar característica en los dipolos disminuyendo su radiación trasera.

Plano H



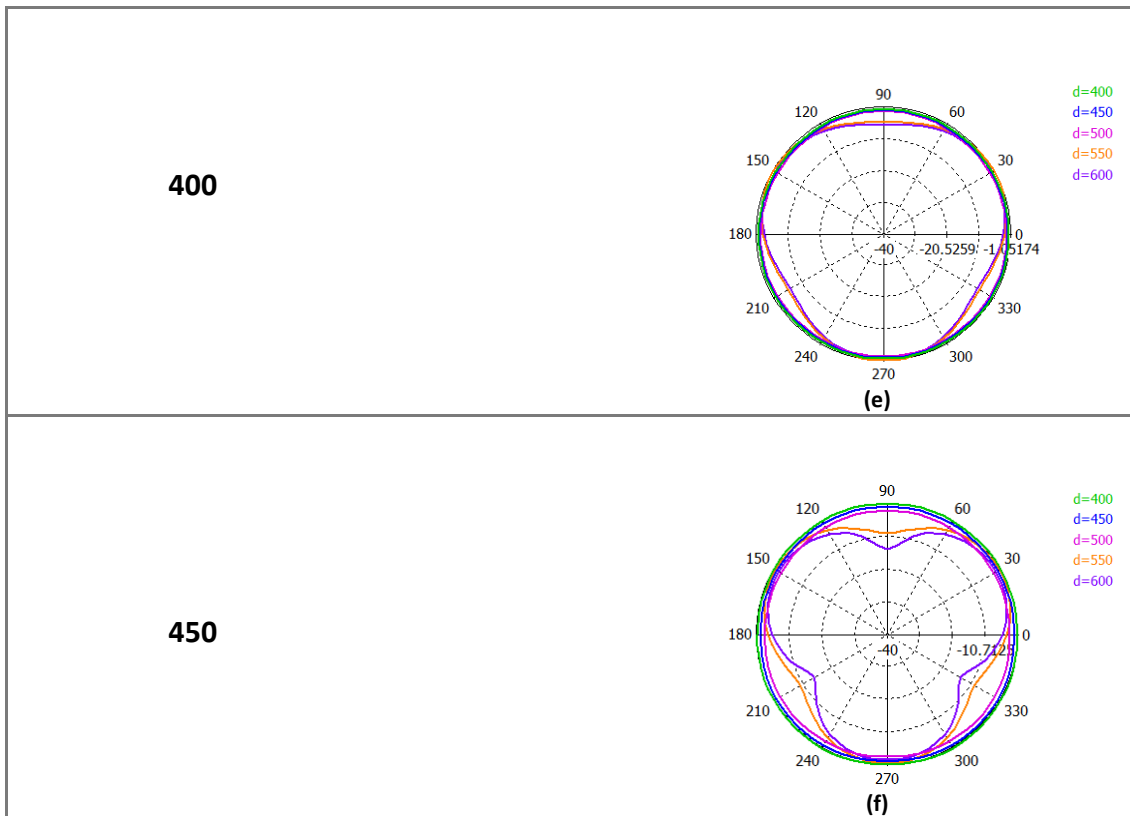


Figura IV.8. Representación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro d (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz

En la Figura IV.8 se puede ver que para los valores de 400, 450 y 500 mm la estructura tiene un carácter omnidireccional (el disco no descansa sobre los postes).

Sin embargo, para los valores de 550 y 600 mm, los discos se apoyan en los postes, a medida que aumentamos en frecuencia, la estructura deja de radiar de forma omnidireccional.

### Ganancia, directividad y eficiencia de radiación

A continuación se muestran las ganancia, directividad y eficiencia de radiación (Figuras IV.9, IV.10 y IV.11) simuladas para varios valores de  $d$ .

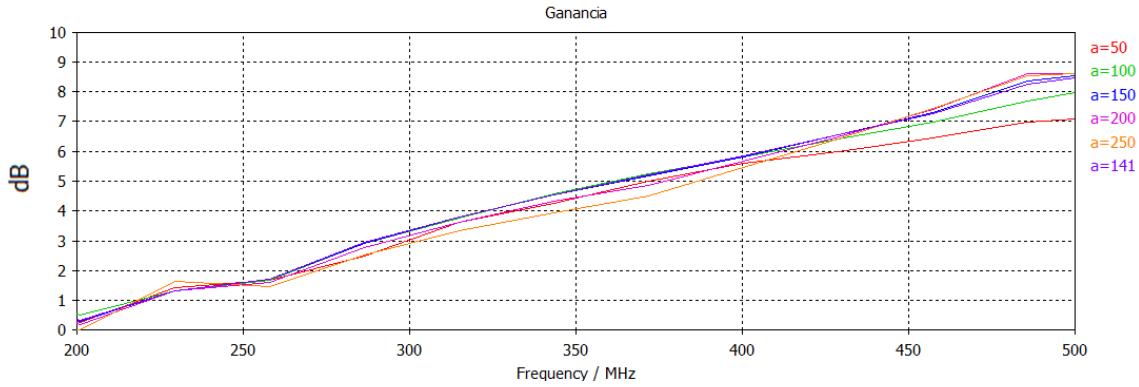


Figura IV.9. Ganancia en función del parámetro  $d$ . Unidades  $d$  en mm

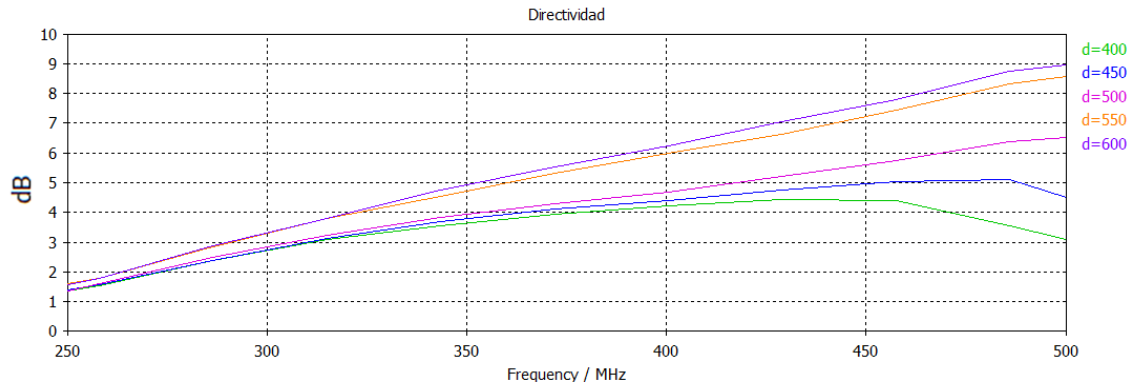


Figura IV.10. Directividad en función del parámetro  $d$ . Unidades  $d$  en mm

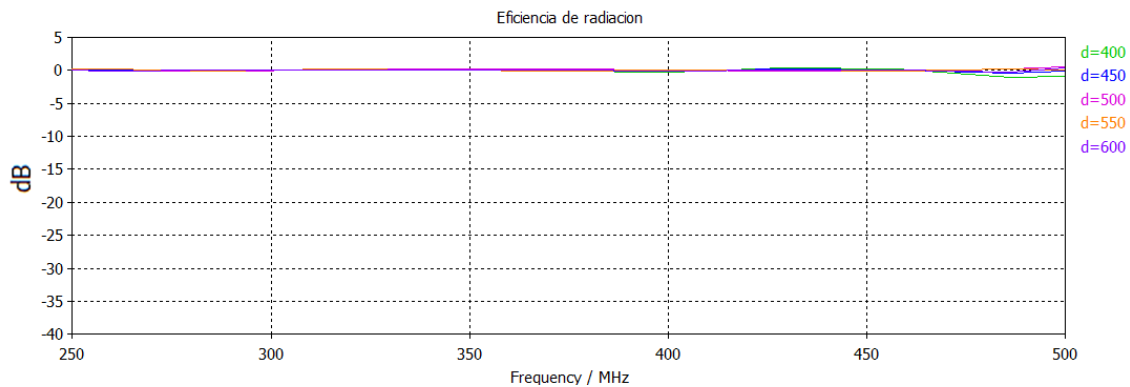


Figura IV.11. Eficiencia de radiación en función del parámetro  $d$ . Unidades  $d$  en mm

En cuanto a la eficiencia de radiación se observa que ésta tiene un valor constante de 0dB (100%).

La directividad y la ganancia tienen un crecimiento lineal a medida que aumenta en frecuencia, siendo mayor cuando aumenta el diámetro del disco.



## ii. Parámetro “a”

Para realizar el análisis de este parámetro, se han fijado los valores de los otros dos:

- $d = 540 \text{ mm}$
- Altura poste = 15 mm

### Parámetro $S_{11}$

A continuación se muestra la simulación del parámetro  $S_{11}$  para varios valores del parámetro  $a$ .

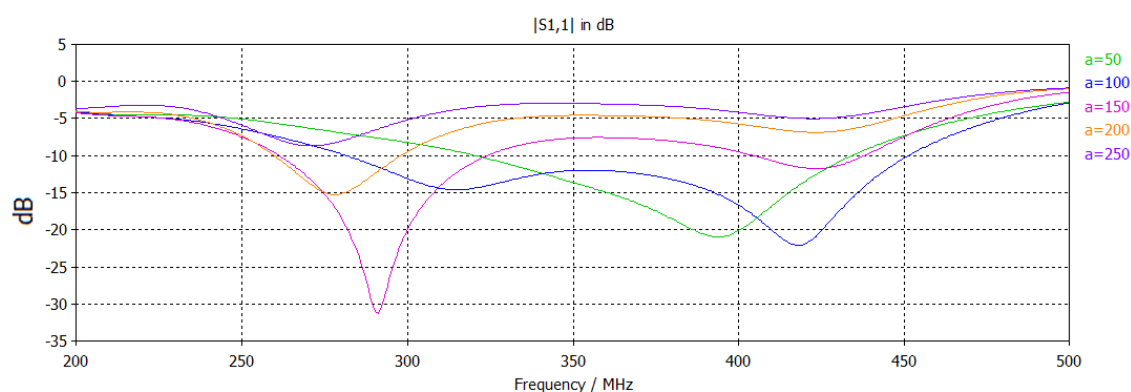
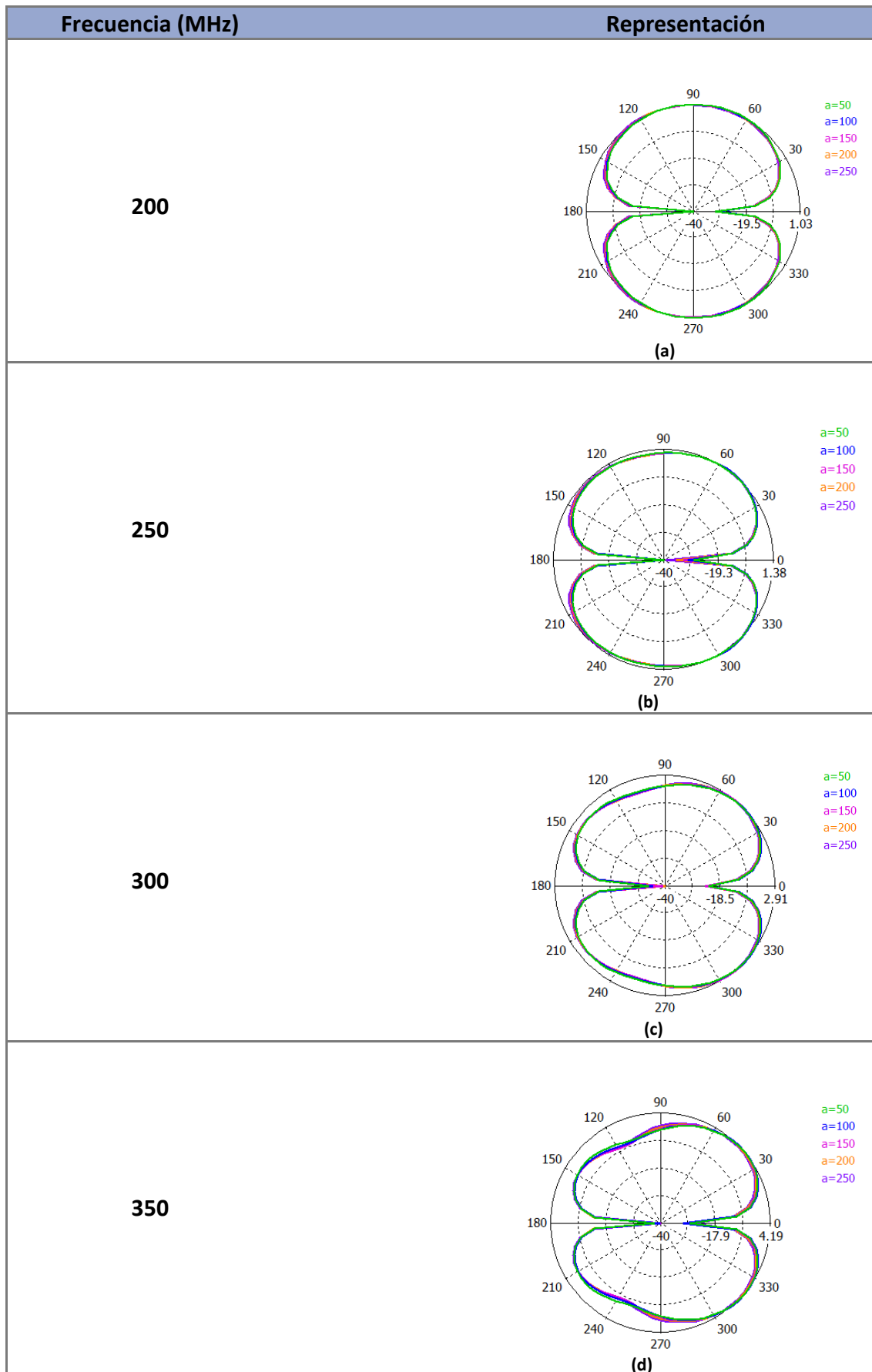


Figura IV.12. Parámetro  $S_{11}$  en función del parámetro  $a$ . Unidades  $a$  en mm

En la Figura IV.12 se puede observar el parámetro  $S_{11}$  correspondiente a la altura del sistema. Al hacer más grande la altura de la cavidad, la adaptación es mejor a frecuencias más bajas.

A continuación se muestra en la Figura IV.13 el diagrama de radiación simulado (plano E) en distintas frecuencias del parámetro ‘a’. A frecuencias bajas, la estructura radia similar a como lo hace un dipolo y a medida que aumentamos en frecuencia, los lóbulos traseros tienden a disminuir y la antena disminuye la radiación trasera (similar a lo que ocurría con el parámetro ‘d’).

Plano E



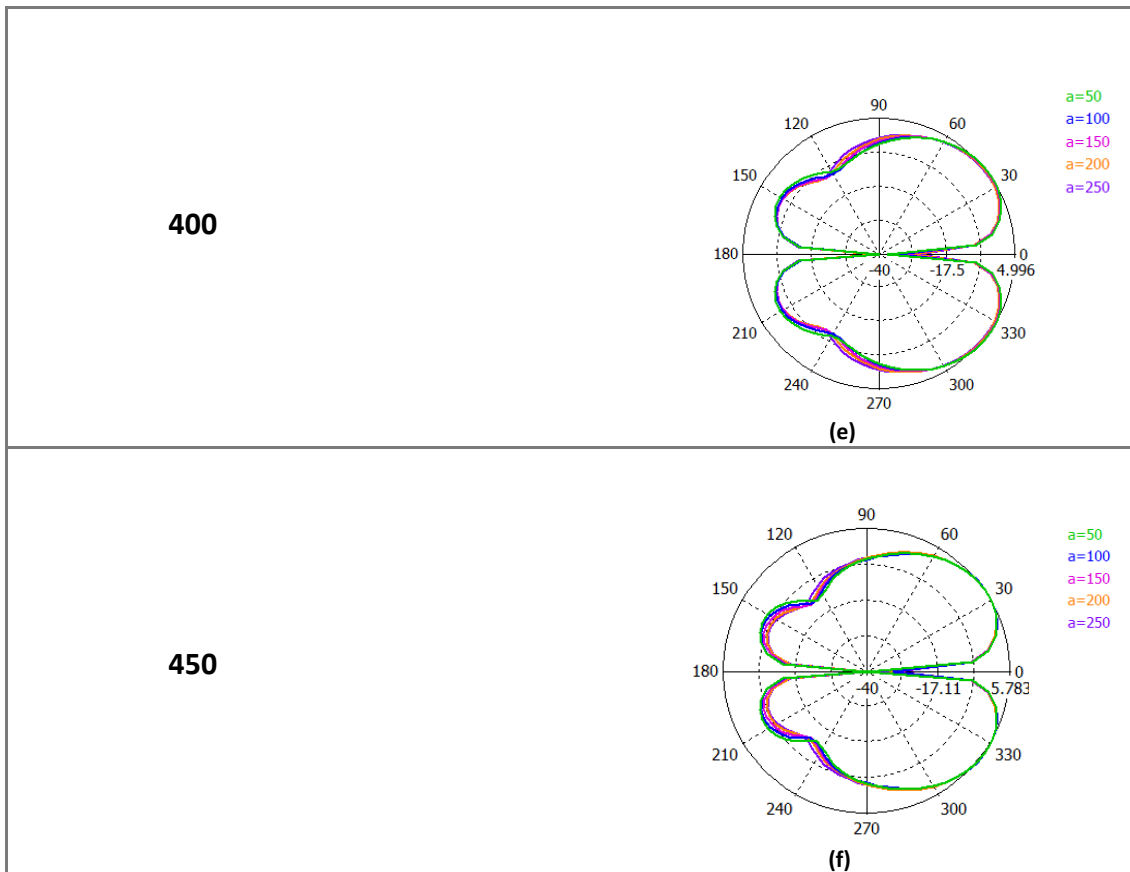
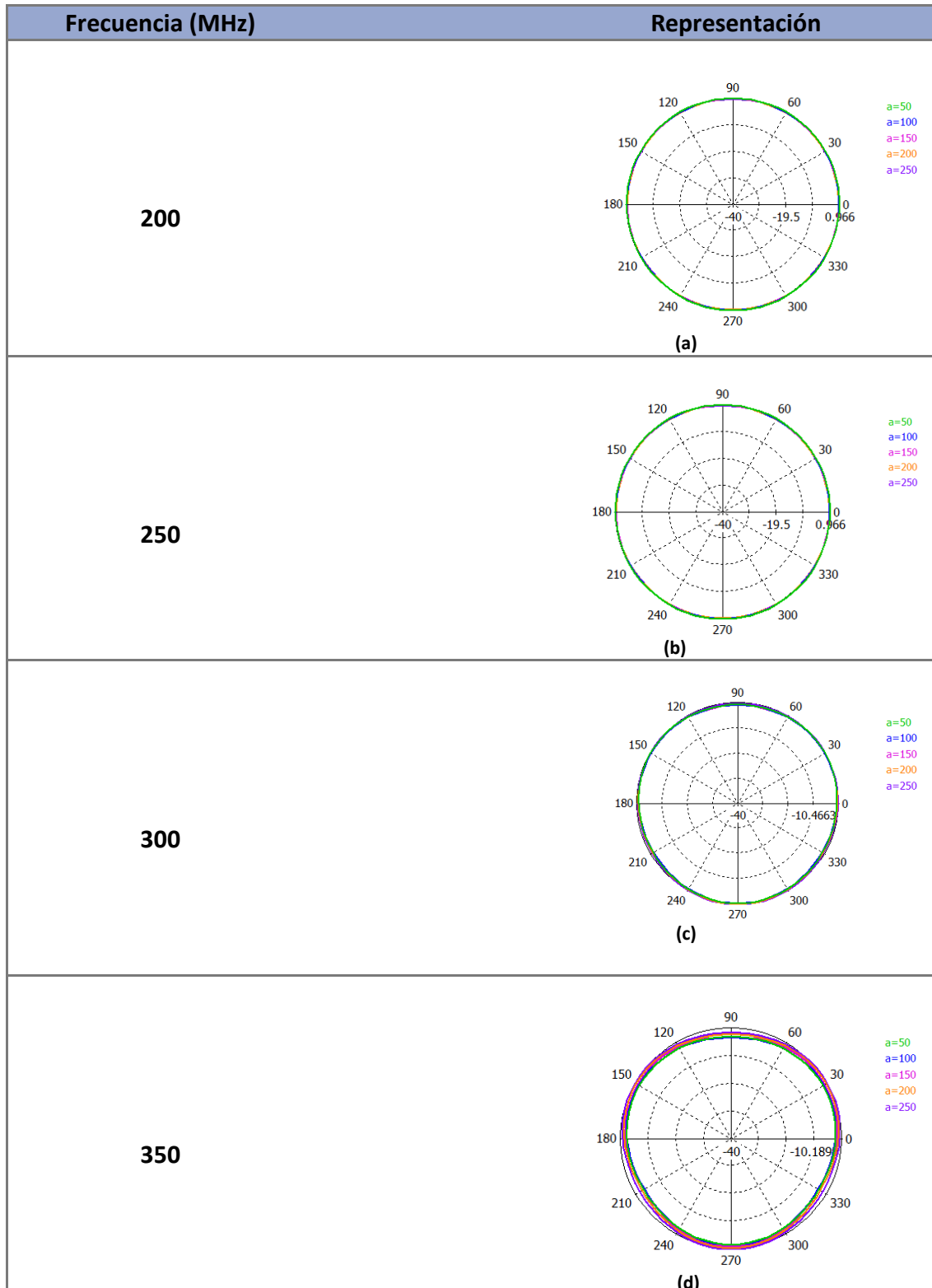


Figura IV.13. Representación del plano E en distintas frecuencias correspondiente al parámetro a (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz

Plano H

Si atendemos al plano H representado en la Figura IV.14, se puede observar que a medida que aumentamos en frecuencia, la influencia de los postes que sujetan los discos es más notoria en aquellos casos en que la altura de la cavidad es mayor.



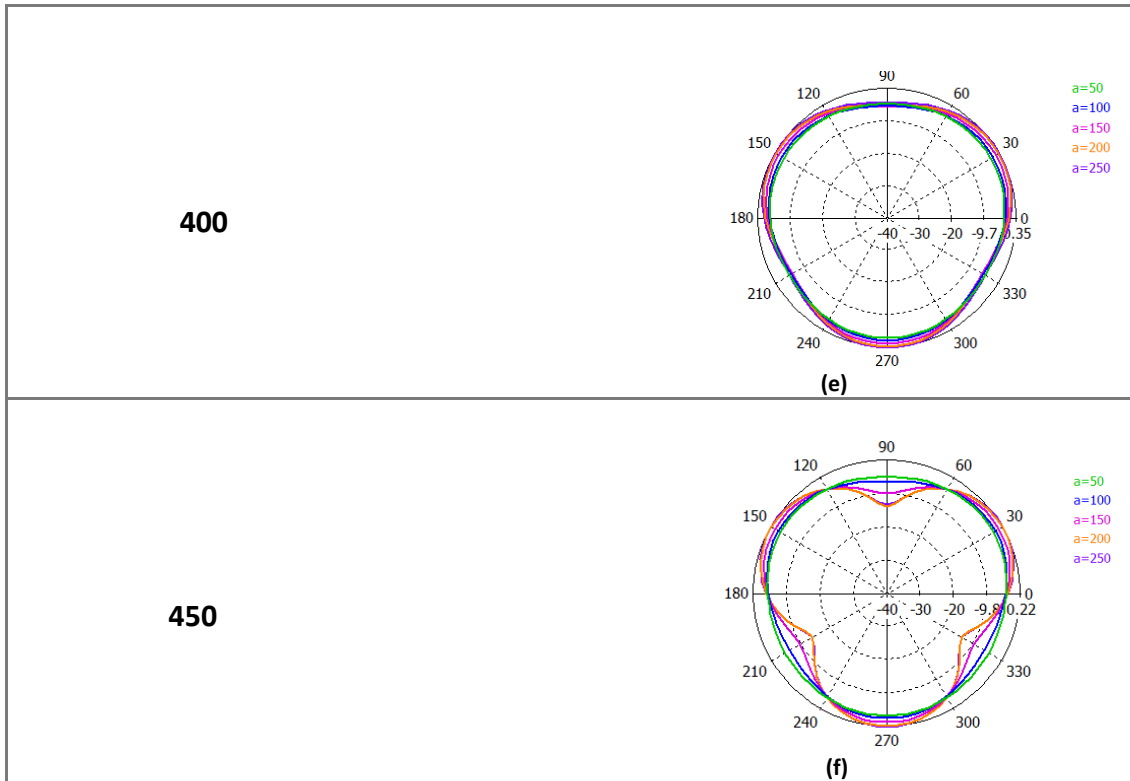


Figura IV.14. Representación del plano H en distintas frecuencias correspondiente al parámetro a (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz

### Ganancia, Directividad y Eficiencia de Radiación

A continuación se muestran las gráficas de la ganancia (Figura IV.15), directividad (Figura IV.16) y eficiencia de radiación (Figura IV.17). En cuanto a la ganancia, la influencia de la altura de la cavidad no repercute en gran medida. Por el contrario, en la gráfica de la directividad es mayor cuanto mayor es la cavidad del sistema.

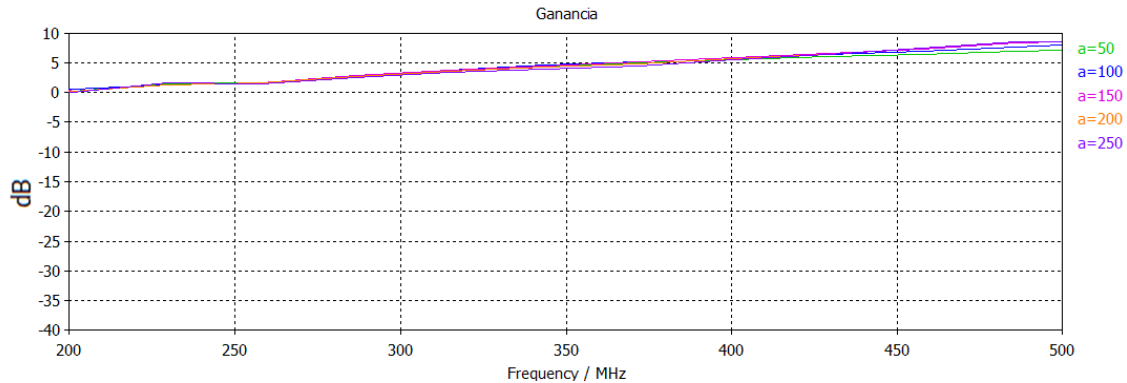


Figura IV.15. Ganancia en función del parámetro  $a$ . Unidades  $a$  en mm

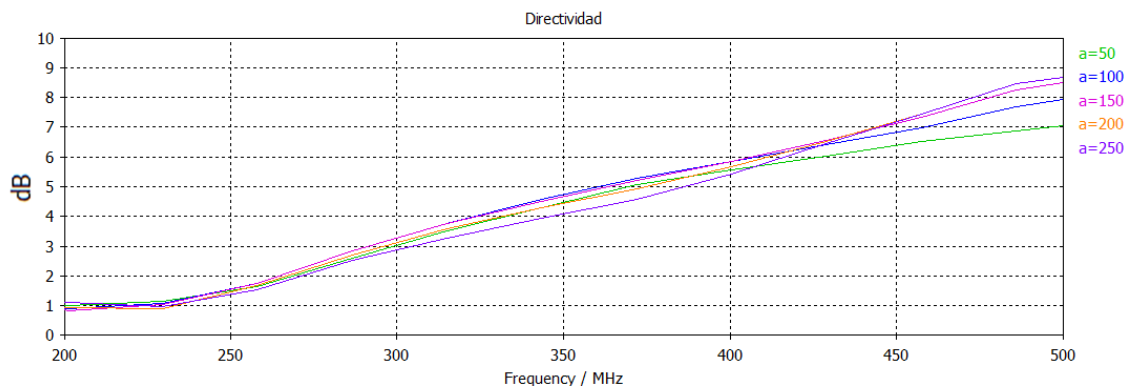


Figura IV.16. Directividad en función del parámetro  $a$ . Unidades  $a$  en mm

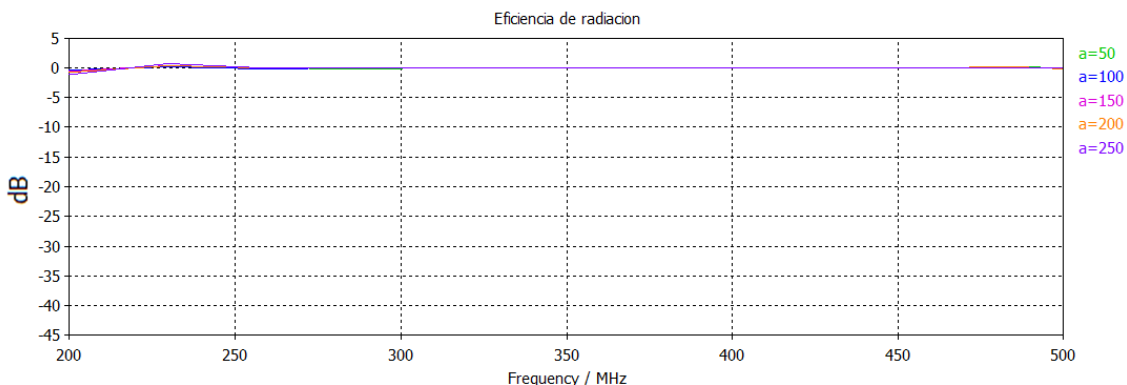


Figura IV.17. Eficiencia de radiación en función del parámetro  $a$ . Unidades  $a$  en mm

### iii. Parámetro “Altura Poste”

Para realizar el análisis de este parámetro, se han fijado los valores de los otros dos:

- $d = 540 \text{ mm}$
- $a = 141 \text{ mm}$

#### Parámetro $S_{11}$

A continuación se muestra el parámetro  $S_{11}$  simulado para distintos valores de Altura Poste.

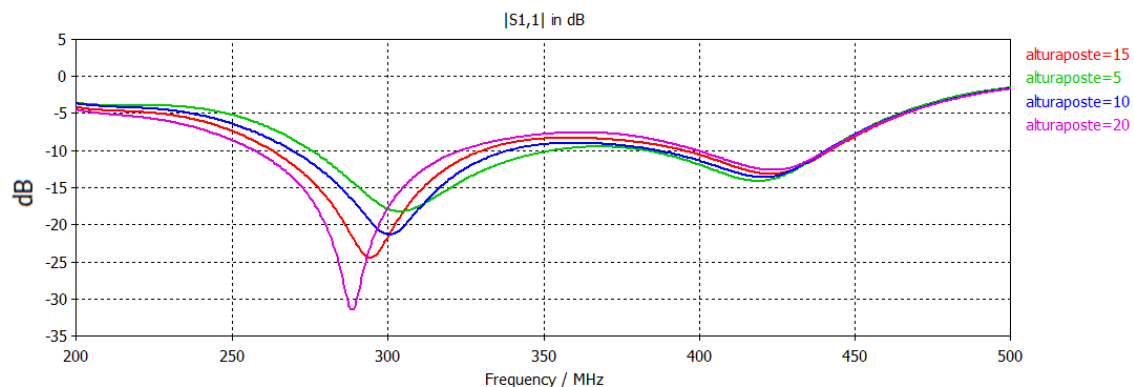


Figura IV.18. Parámetro  $S_{11}$  correspondiente al parámetro ‘altura postes’

En la Figura IV.18 se observa que un aumento de la altura de los postes de la antena no afecta al comportamiento electromagnético. Por ello, no se van a ilustrar las Tablas correspondientes al plano E y al plano H ni las gráficas de la directividad, ganancia y eficiencia de radiación dado que no tienen un valor significativo en el análisis paramétrico.

### 4.3. Prototipo final

Después de haber realizado el análisis paramétrico en el apartado anterior, en esta sección se propone una posible solución con los datos propuestos en la Tabla IV.1.

Tabla IV.1. Valores de los parámetros del prototipo de la antena miniaturizada

Parámetro	Valor (mm)
Altura cavidad exterior	141
Altura poste	10
Espesor	10
Diámetro discos	540
Diámetro del cono (Dmax)	550
Diámetro total antena	870
Altura cavidad interior	96
Altura discos concéntricos	15

De forma gráfica, el diseño de la antena se muestra en la Figura IV.19.

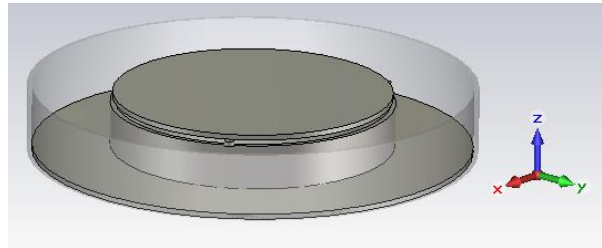


Figura IV.19. Representación del prototipo de la antena miniaturizada

#### Parámetro $S_{11}$

El resultado del parámetro  $S_{11}$  se ilustra en la Figura IV.20 donde se puede observar que según el criterio de  $-7.35\text{dB}$  ( $\text{ROE} = 2.5$ ) según [9], el ancho de banda comprende desde los 250MHz a los 450Mhz aproximadamente ( $\text{FBW}=62\%$ ).

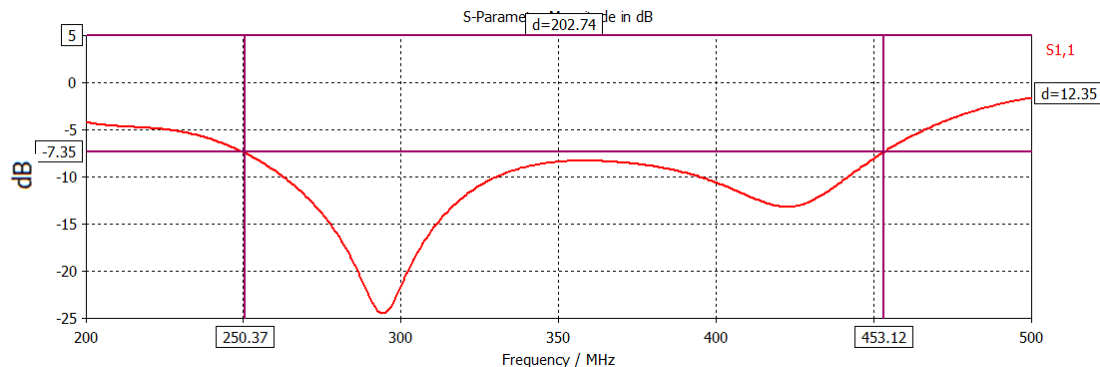


Figura IV.20. Representación del parámetro  $S_{11}$  del prototipo final de la antena miniaturizada



### Ganancia, directividad y eficiencia de radiación

En cuanto a la ganancia y a la directividad, se puede concluir que aumentan al aumentar en frecuencia (véase Figura IV.21 y IV.22). En cuanto a la eficiencia de radiación (Figura IV.23), se observa que es del 100% en todo el margen de frecuencias de funcionamiento.

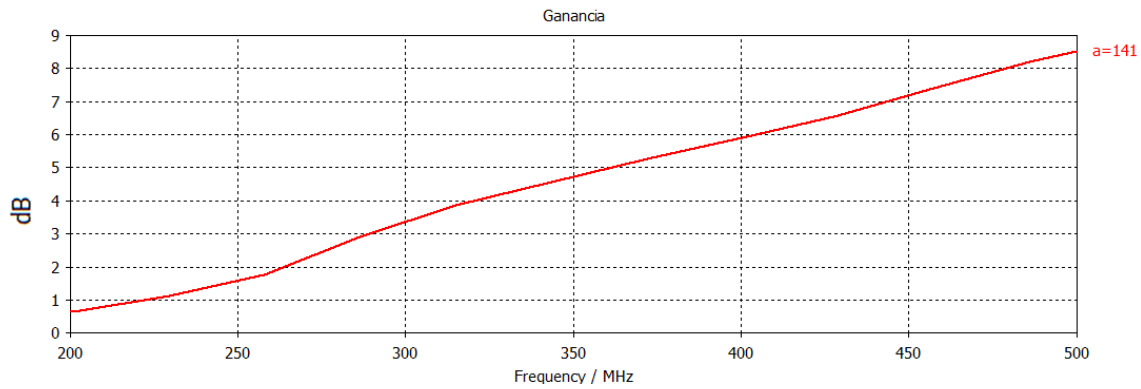


Figura IV.21. Representación de la ganancia del prototipo final de la antena miniaturizada

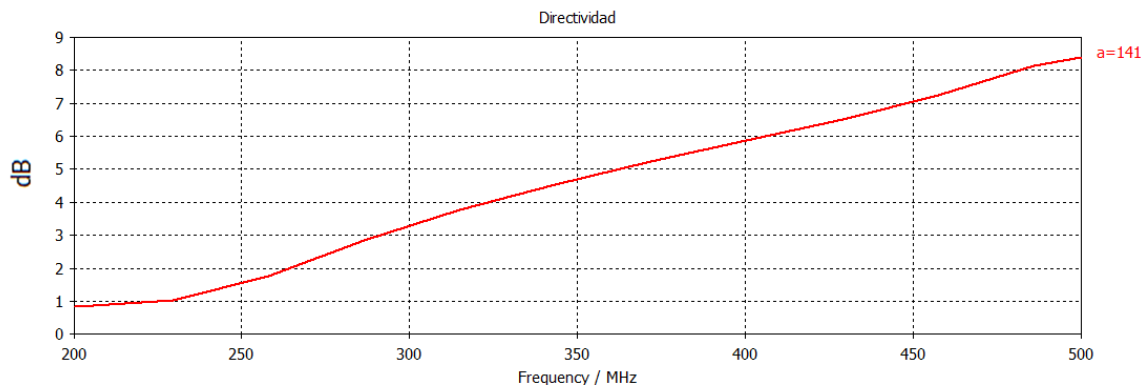


Figura IV.22. Representación de la directividad del prototipo final de la antena miniaturizada

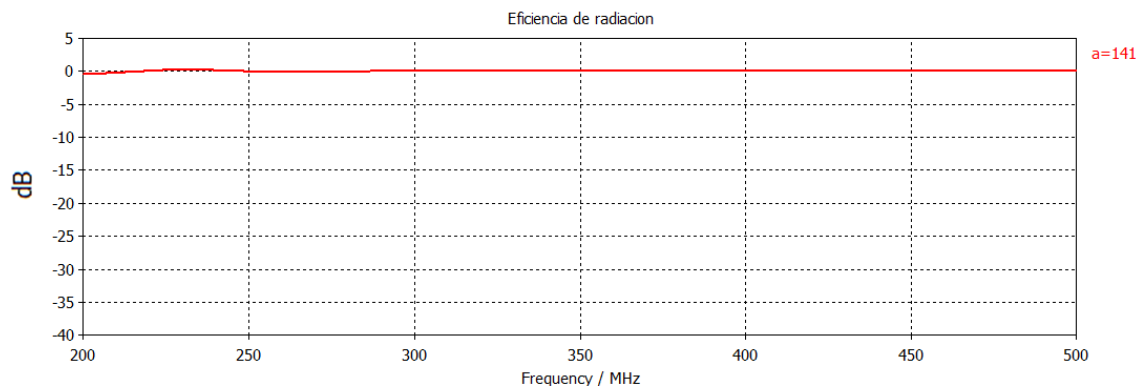
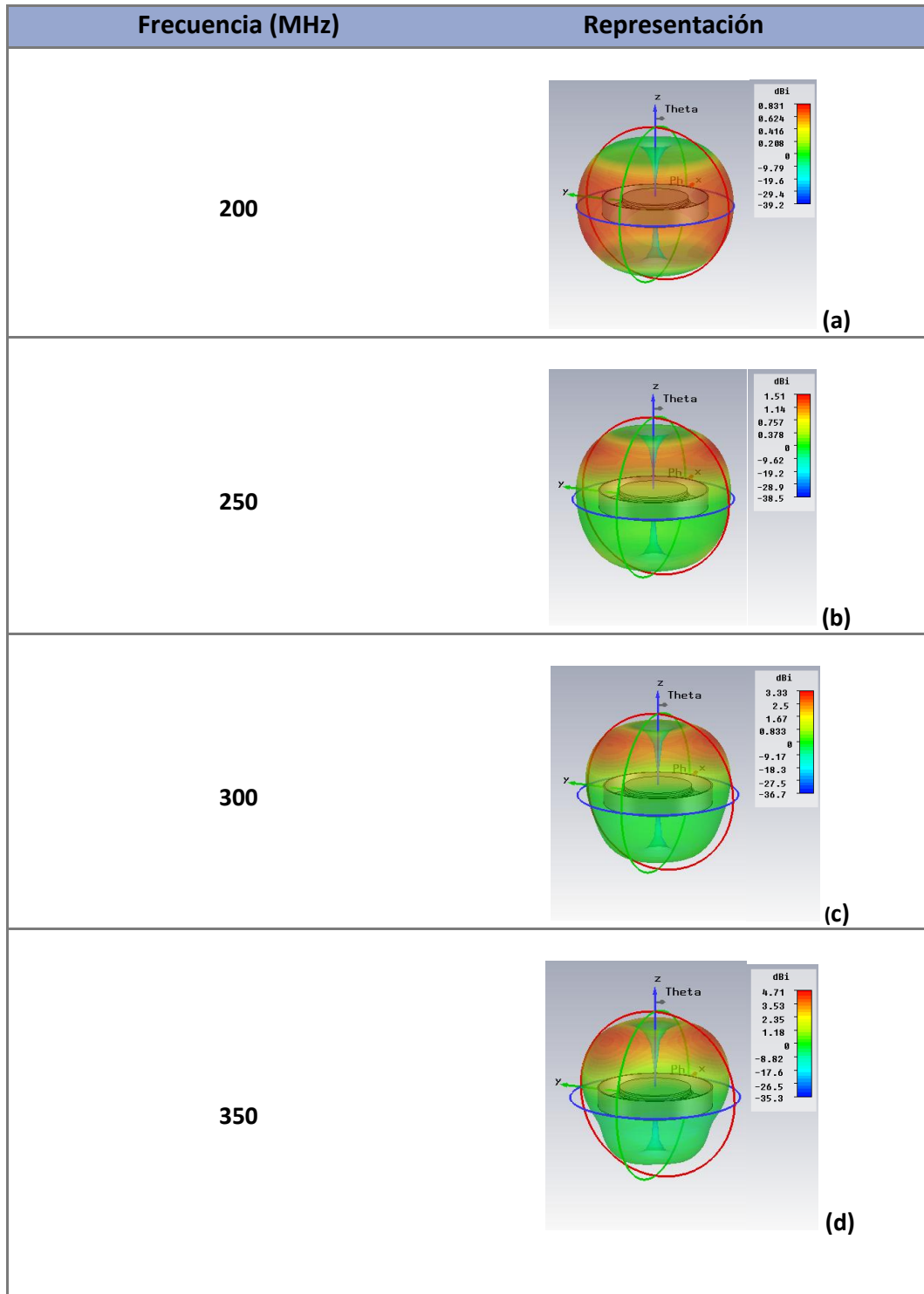


Figura IV.23. Representación de la eficiencia de radiación del prototipo final de la antena miniaturizada

Diagrama de radiación

En la Figura IV.24, se representan los diagramas de radiación a distintas frecuencias a las que funciona la antena. Como se ha descrito anteriormente en la mayoría de los parámetros analizados, a medida que aumentamos en frecuencia, el diagrama de radiación tiende a formar lóbulos secundarios traseros y así perder la forma dipolar característica de los dipolos y radiar más hacia  $z > 0$ .



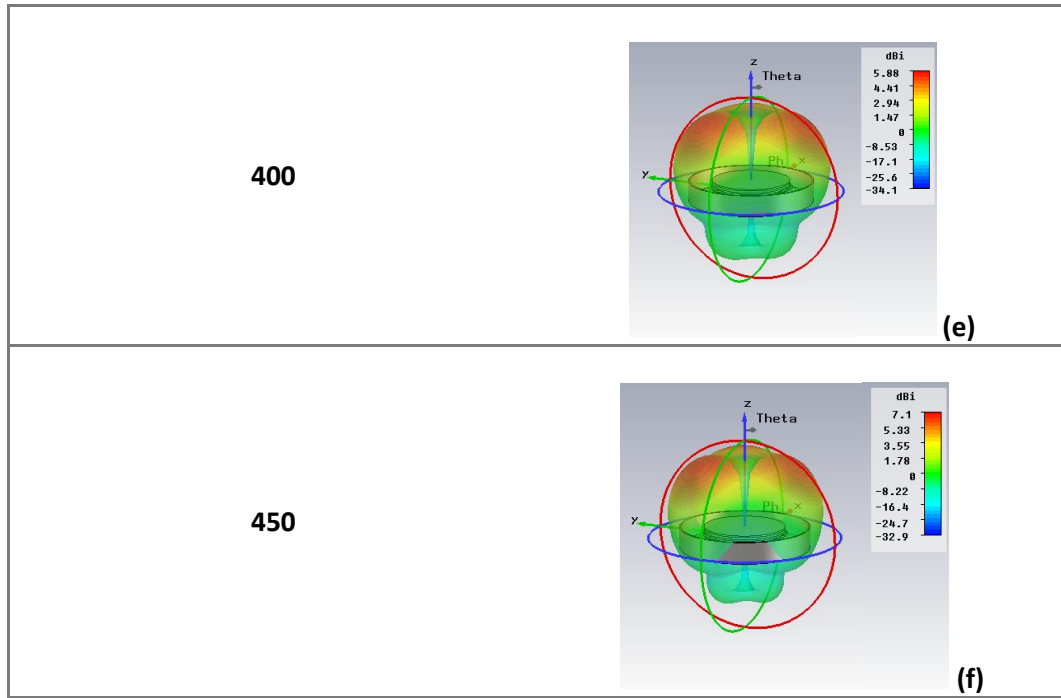


Figura IV.24. Representación del diagrama de radiación en distintas frecuencias del prototipo final (a) 200 MHz (b) 250 MHz (c) 300 MHz (d) 350 MHz (e) 400 MHz (f) 450 MHz

#### 4.3.1. Influencia del espesor

Al igual que se hizo en capítulo III, se ha procedido a analizar la influencia del peso en la antena (véase Figura IV.25). Se puede observar que la variación del espesor de las láminas de la antena es mínima. Gracias a un espesor menor, la estructura pesará menos y será más fácil su transporte.

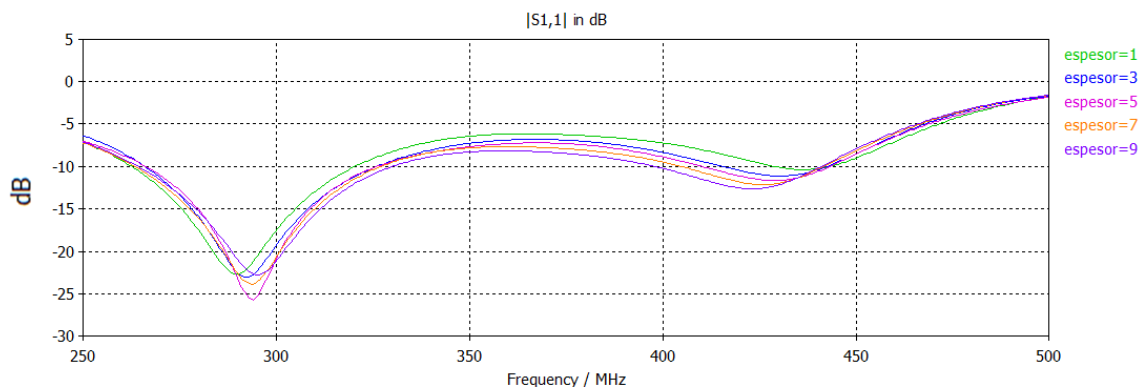


Figura IV.25. Representación del espesor de las láminas del prototipo final

En la Figura IV.26 se muestra una gráfica que relaciona el espesor con el peso. Las láminas utilizadas son de aluminio cuya densidad es de  $2700 \text{ kg/m}^3$ .

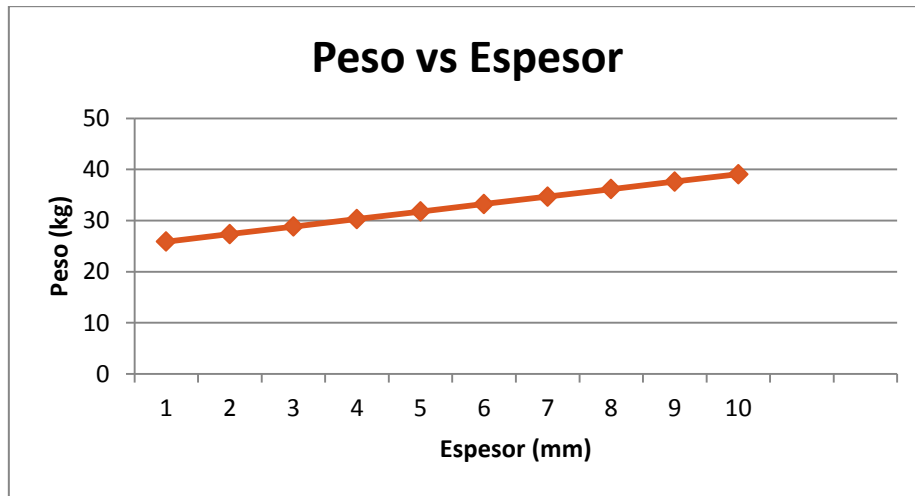


Figura IV.26. Representación del peso en función del espesor de las láminas de la antena

#### 4.4. Conclusiones

En este capítulo se ha realizado un estudio de la antena proporcionada por [9]. Primero se ha explicado la estructura de forma detallada, y seguidamente se ha realizado un estudio paramétrico de aquellos parámetros que eran más representativos de la antena.

Por último, se ha propuesto y analizado una solución del problema con aquellos valores que se aproximan a los requerimientos. A la vista de los resultados obtenidos, el ancho de banda correspondiente a la estructura con cavidad no se aproxima como nos gustaría al del tercer capítulo, pasando de 133% a 62% en cuanto al FBW.

Por otro lado, se logra reducir el tamaño de la estructura en términos de altura, pero, sin embargo el peso de la antena sigue siendo elevado. Para validar la antena, en el siguiente capítulo se va a diseñar, fabricar y medir una antena escalada en una banda superior (banda S-L: 1.8 GHz – 2.5 GHz).

***Capítulo V***  
***Diseño, fabricación y medida de***  
***prototipo en bandas S y L***  
***(1.8GHz-2.5GHz)***



**CAPÍTULO V**

**Diseño, fabricación y medida de prototipo en bandas S y L (1.8 GHz - 2.5 GHz)**

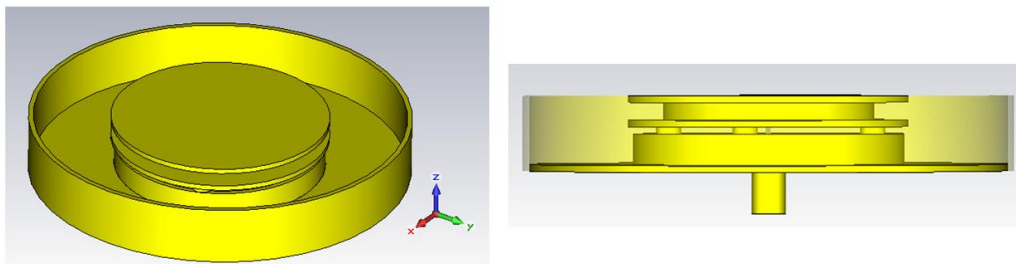
En el capítulo anterior, se ha realizado una miniaturización de la antena disco para hacer posible su instalación en un vehículo aeroespacial. Esta miniaturización solo ha sido posible en términos de altura y en este apartado se va a construir un prototipo en una banda de frecuencias superior para validar los resultados.

Debido a la banda elegida para el diseño de la antena del capítulo anterior, las dimensiones de la antena son demasiado grandes para su fabricación y, por ello, el prototipo elegido comprende las bandas S y L (1.8 GHz - 2.5 GHz).

En la primera parte del capítulo se comentarán los resultados de la simulación atendiendo, como viene siendo costumbre, al parámetro  $S_{11}$ , su diagrama de radiación, directividad, ganancia y eficiencia de radiación. Por último se procederá a medir la antena construida y comparándola con los datos teóricos para observar las diferencias.

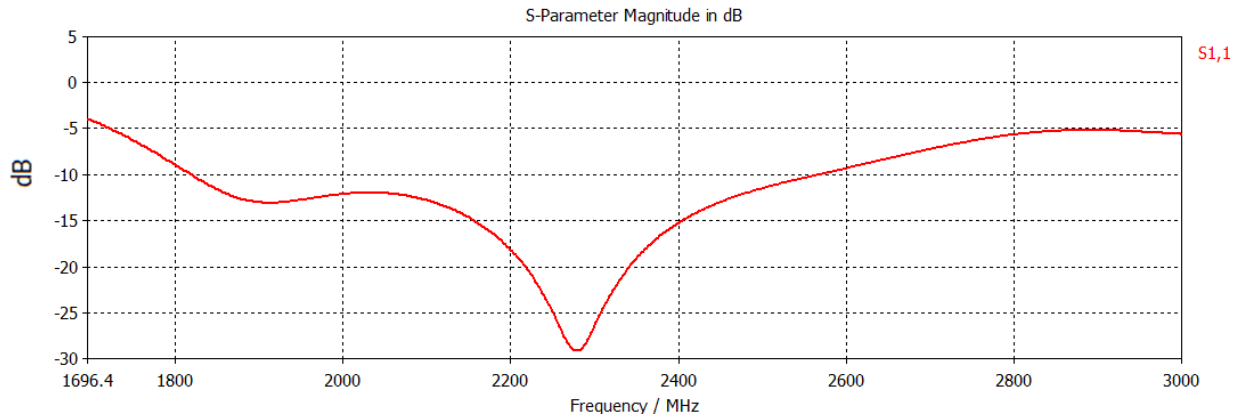
### **5.1. Antena diseñada**

La antena que se va a diseñar en este capítulo es una versión escalada de la del capítulo anterior (véase Figura V.1). La antena funciona desde los 1.8 GHz hasta los 2.5 GHz (bandas S y L) . El atractivo de estas bandas es la capacidad de medir las señales 3G, Wi-Fi y Bluetooth. En cuanto a las dimensiones de la antena se pueden observar en el Anexo: Planos de la antena fabricada.



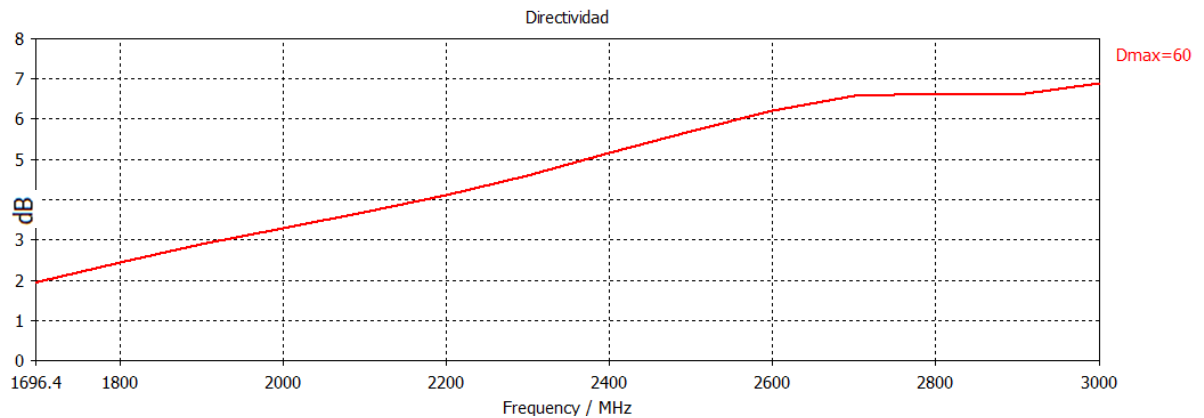
**Figura V.1. Prototipo escalado de la antena miniaturizada**

A continuación, en la Figura V.2 se muestra el parámetro  $S_{11}$  de la antena escalada.

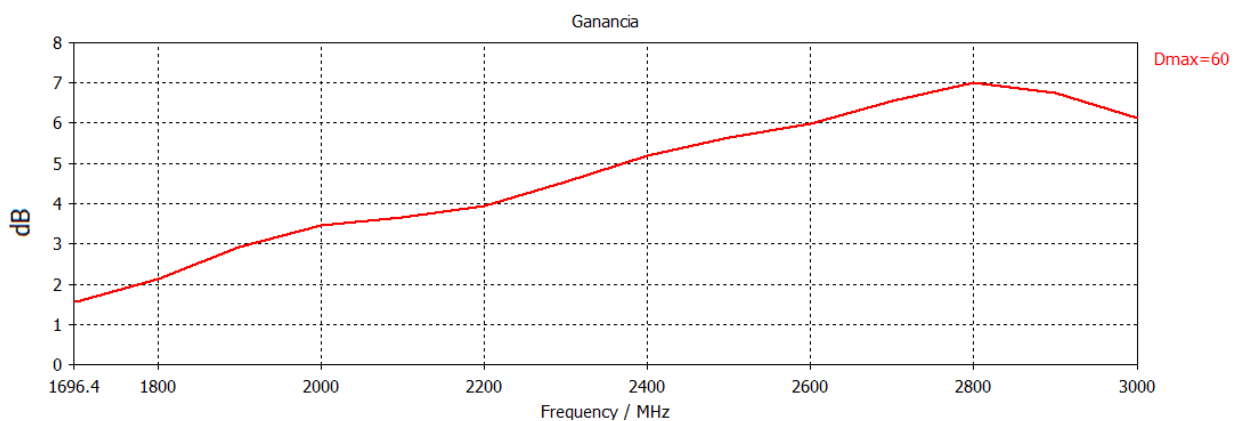


**Figura V.2. Parámetro  $S_{11}$  del prototipo de la antena escalada**

Extrayendo conclusiones de la gráfica, se puede concluir que la antena diseñada funciona desde los 1800 MHz a los 2600 MHz (FBW = 36,36%).

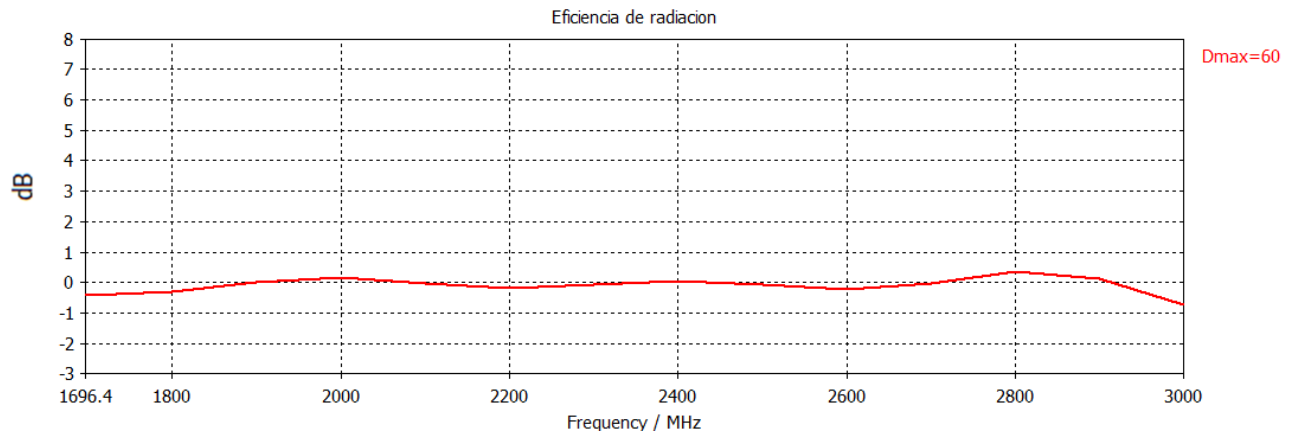


**Figura V.3. Directividad del prototipo de la antena escalada**



**Figura V.4. Ganancia del prototipo de la antena escalada**





**Figura V.5. Eficiencia de radiación de la antena escalada**

Las Figuras V.3, V.4, V.5 presentan la directividad, ganancia y eficiencia de radiación respectivamente. Se puede observar que aumentando en frecuencia tanto la directividad como la ganancia aumentan.

En cuanto a la eficiencia de radiación, se puede observar que en escala logarítmica en todo el margen de frecuencias tiene el valor de 0 dB, que equivale en términos porcentuales a una eficiencia de radiación del 100%.

En la Figura V.6 se observa la evolución del diagrama de radiación de la antena en las frecuencias indicadas. Se puede extraer que a medida que aumentamos en frecuencia, se va perdiendo el carácter dipolar.

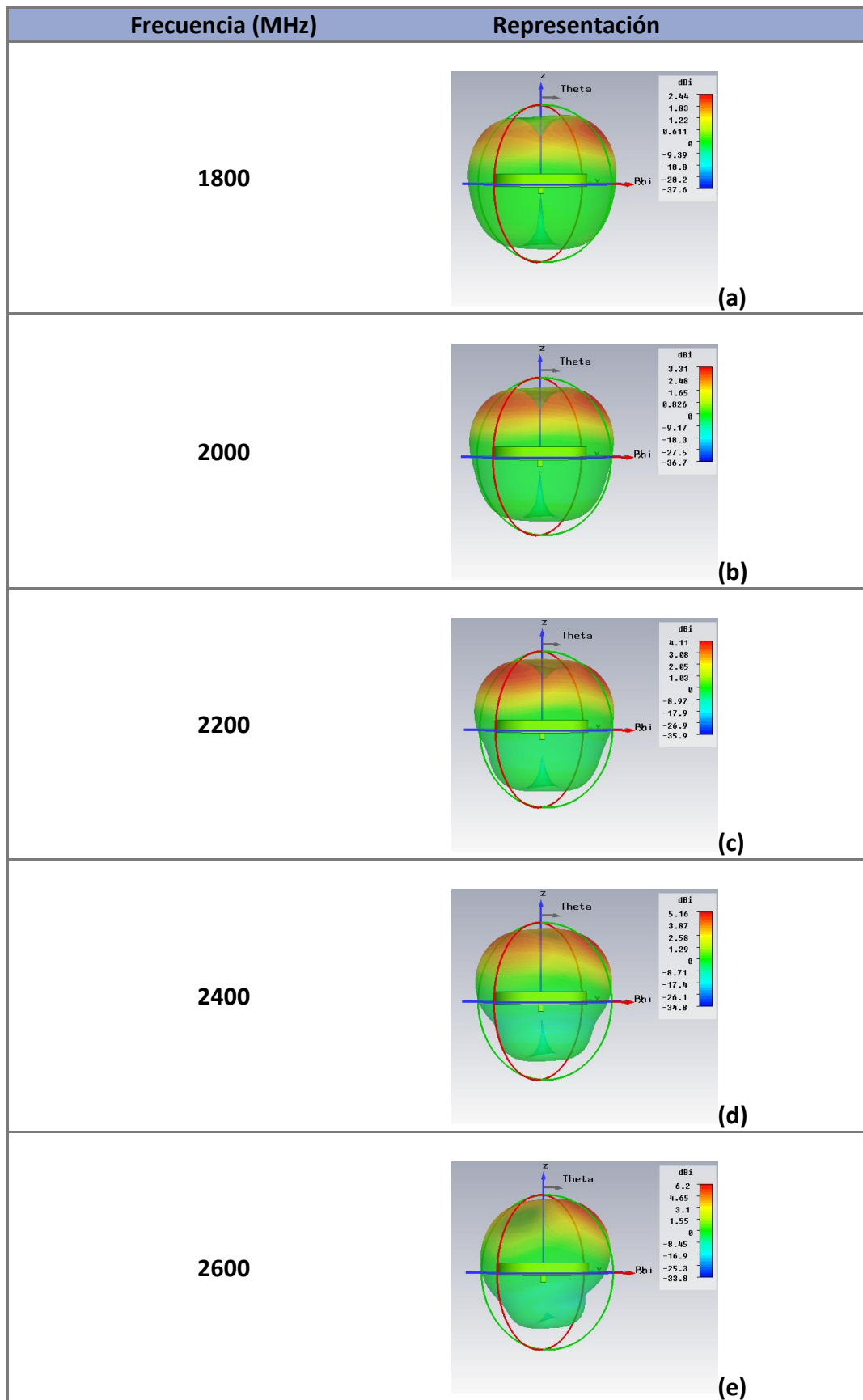


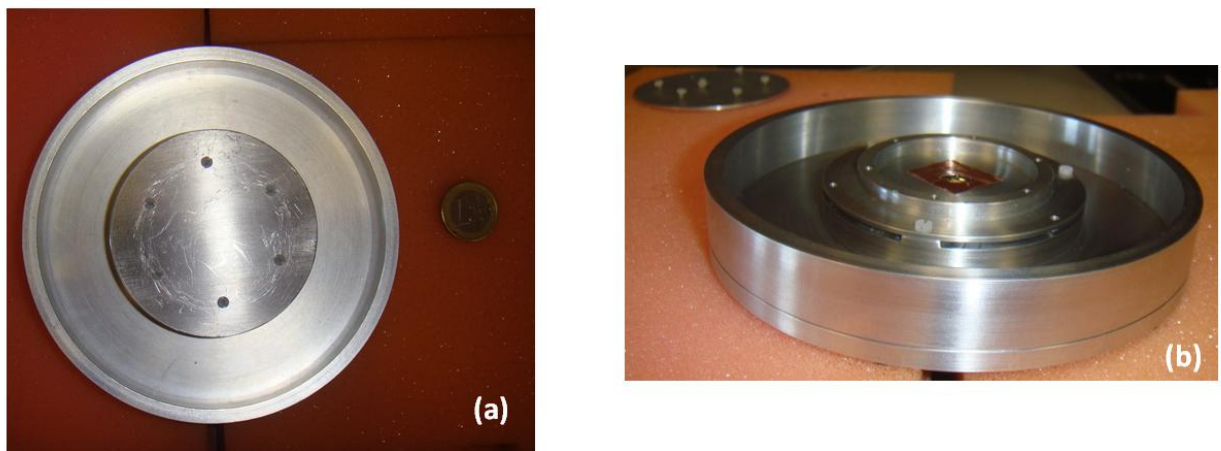
Figura V.6. Representación del diagrama de radiación de la antena escala en distintas frecuencias (a) 1800 MHz (b) 2000 MHz (c) 2200 MHz (d) 2400 MHz (e) 2600 MHz

## **5.2. Antena fabricada**

En este apartado se mostraran los resultados experimentales obtenidos tras la medida de la antena fabricada. En primer lugar se introducirá el método de medida empleado y posteriormente se comentarán y analizarán los resultados obtenidos tanto en adaptación como en radiación.

### **5.2.1. Prototipo fabricado y método de medida**

En la Figura V.7 se muestra la antena fabricada según los planos adjuntados en el Anexo: Planos de la antena fabricada. Para dar una idea de sus dimensiones, se enfrenta a una moneda de 1€.



**Figura V.7. (a) Vista en planta de la antena fabricada enfrentada a 1€; (b) Antena fabricada sin disco superior**

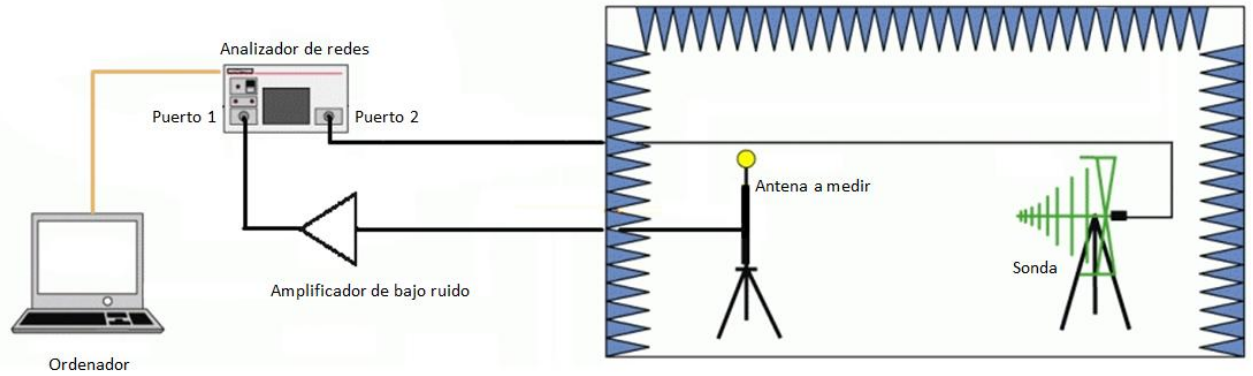
Con el objetivo de medir la adaptación de la antena, se requiere un analizador de redes. En dicho equipo, se adapta el puerto 2 a  $50\Omega$  y se coloca la antena en el puerto 1.

En el caso de la obtención de los diagramas de radiación, son necesarios más elementos que en el caso anterior, como se ilustra en la Figura V.8. En una cámara anecoica se coloca una sonda (antena de tipo bocina) y la antena a medir a una distancia determinada<sup>4</sup>, véase Figura V.9. La elección de la antena tipo bocina para actuar como sonda se debe a su alta directividad y a la posibilidad de medir en varias frecuencias gracias a su ancho de banda.

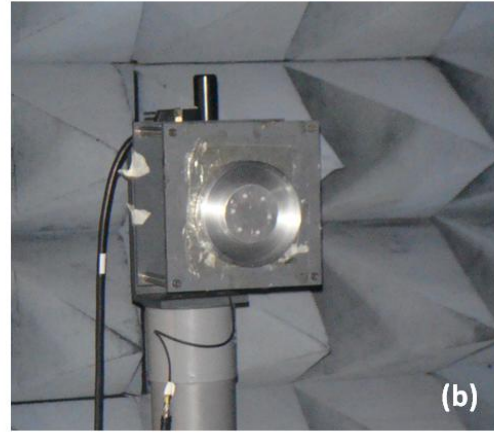
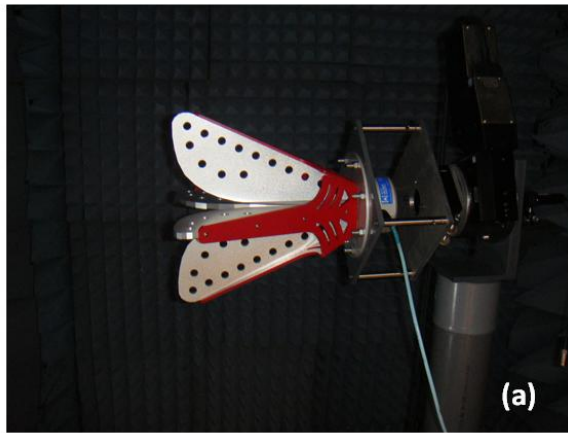
---

<sup>4</sup> La distancia debe cumplir la condición de campo lejano  $\frac{2D^2}{\lambda} \geq L$ ; siendo D la dimensión diagonal de la bocina y L la distancia entre antenas

De nuevo se hace uso del analizador de redes, conectando la sonda al puerto 2 y la antena al puerto 1 a través de un amplificador de bajo ruido (véase Figura V.8). De ésta manera, se transmite potencia por el puerto 2 y se recibe por el puerto 1 (parámetro  $S_{21}$ ). El soporte que sujeta la antena a medir incorpora un motor que permite cambiar la posición de dicha antena y realizar entonces distintas medidas. Finalmente, los resultados se observarán en un ordenador conectado al analizador de redes.



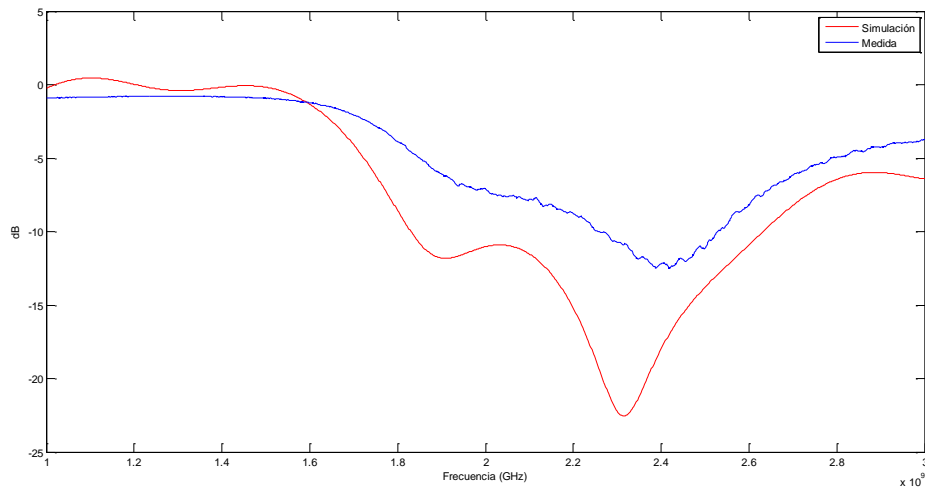
**Figura V.8. Método de medida de radiación de la antena**



**Figura V.9. (a) Antena bocina (sonda); (b) Antena discono (antena a medir)**

### 5.2.2. Medida de adaptación

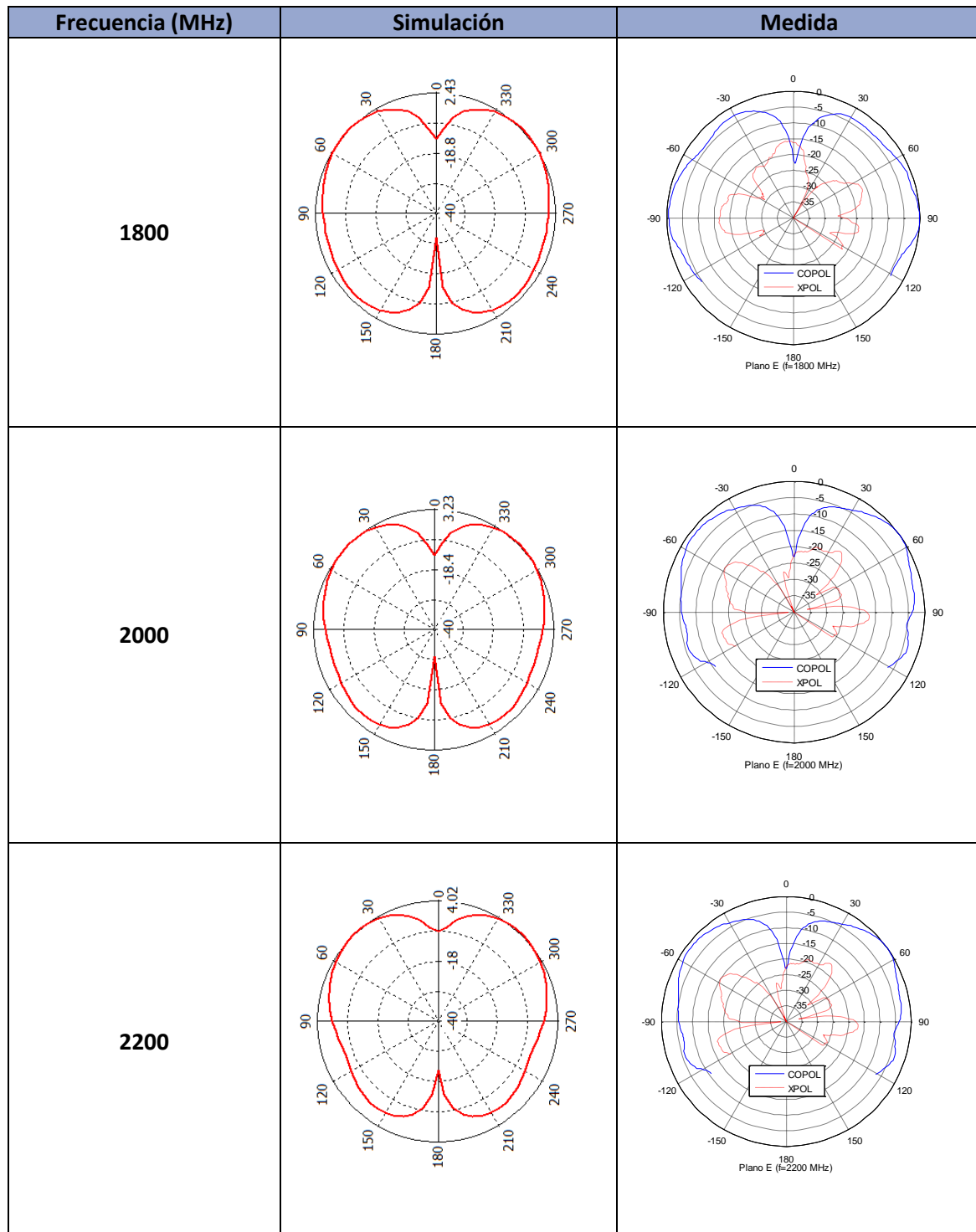
En la Figura V.10 se observa la comparación en términos de adaptación de la antenna fabricada y simulada. En cuanto al margen de frecuencias de funcionamiento, la antenna se ajusta a los requerimientos. La adaptación que se ha medido no es tan buena como la simulada, debido a la dificultad encontrada para la incorporación del coaxial a la antenna. Además hay que añadir pérdidas producidas por el analizador de redes, la sonda y el amplificador de bajo ruido que perjudican la medida.

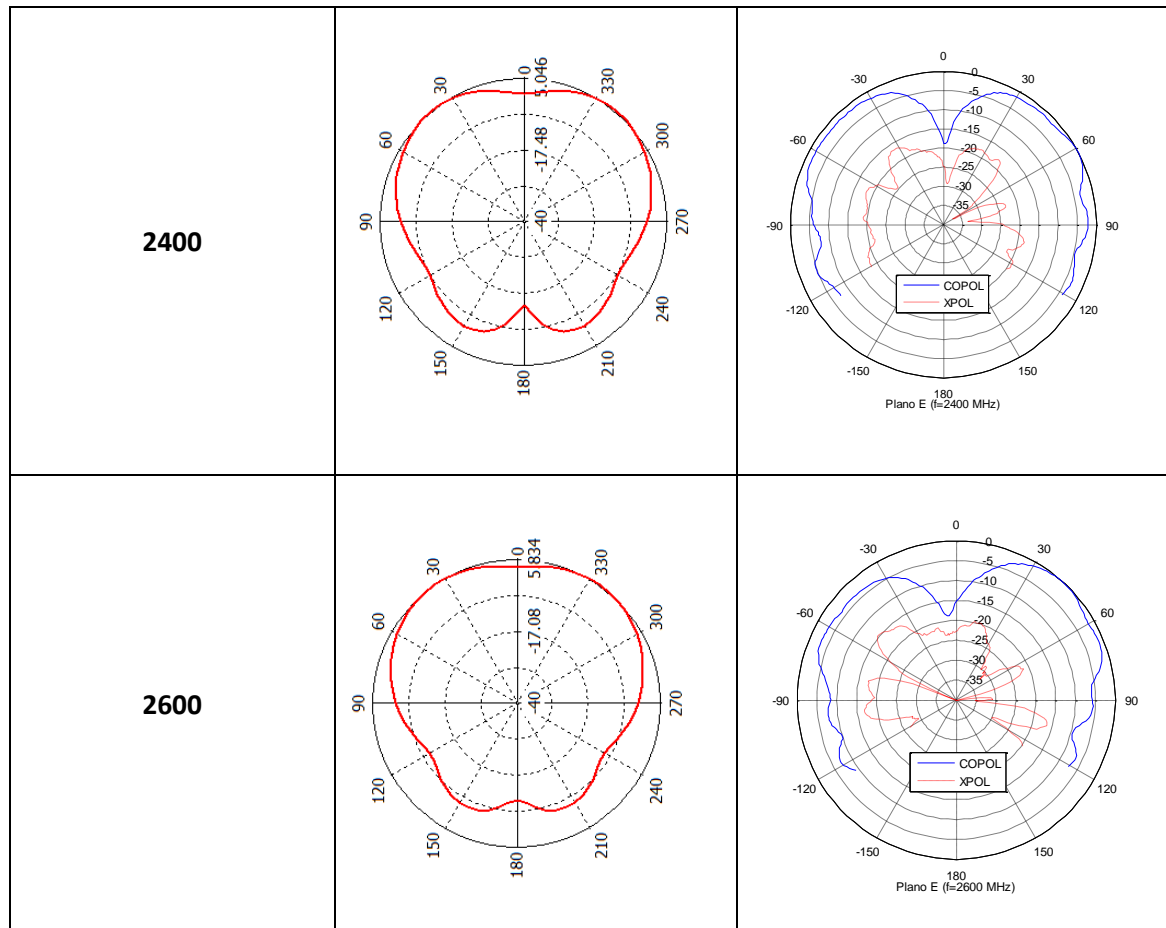


**Figura V.10. Parámetro  $S_{11}$  de la antena fabricada (color azul) y antena simulada (color rojo)**

### 5.2.3. Medida de radiación

En cuanto a los resultados de radiación, en la Figura V.11 se observa la frecuencia, resultado de simulación y de medida experimental de la antena del plano E. Para medir el plano H sería necesario un soporte horizontal, paralelo al suelo, del que no dispone el laboratorio. Por lo tanto no es posible su medida.





**Figura V.11. Diagrama de radiación de la antenna fabricada comparada con la antenna simulada**

### 5.3.Conclusiones

En este apartado se van a nombrar las conclusiones extraídas del capítulo V. La antenna fabricada ajusta en gran medida su comportamiento al simulado también en este capítulo.

En cuanto a los diagramas de radiación, se ha observado un funcionamiento casi idéntico al simulado, obteniendo nulos de radiación en  $0^\circ$  y  $180^\circ$  y el máximo en  $90^\circ$ .

En el caso de la adaptación, se obtienen resultados más alejados a los simulados por causas no derivadas del propio funcionamiento de la antenna, sino del procedimiento experimental: dificultad de introducción del coaxial de la antenna, pérdidas por el uso del analizador de redes, la sonda y el amplificador de bajo ruido.





## ***Capítulo VI***

### ***Conclusiones y Líneas Futuras***



**CAPÍTULO VI**  
**Conclusiones y Líneas Futuras**

En este último capítulo se exponen las conclusiones y los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del Trabajo Fin de Grado.

Por último, se analizarán algunas líneas de investigación a las que este documento puede servir de punto de partida.

### **6.1. Conclusiones**

Durante el desarrollo experimental expuesto a lo largo del Trabajo Fin de Grado se han obtenido las conclusiones indicadas en los correspondientes capítulos y se resumen a continuación.

En el segundo capítulo, se estudiaron las antenas pertenecientes a la banda UVHF realizando una distinción entre antenas clásicas y antenas modernas. Se extrae como conclusión que las antenas clásicas son estructuras más simples caracterizadas en la mayoría por un tamaño múltiplo de  $\lambda/4$ . En las antenas modernas se utilizan tecnologías más actuales como puede ser la tecnología microstrip. Con este tipo de estructura se logra que el tamaño de la antena sea menor y así facilitar el transporte.

En el capítulo III se ha procedido a contextualizar la antena discono nombrando las características, aplicaciones y funcionamiento de la misma. Seguidamente se ha realizado un estudio de aquellos parámetros que se han considerado importantes para la optimización de la antena. Finalmente se ha propuesto un prototipo final que cumple con las especificaciones nombradas en el Capítulo I y, tras analizarlo, se observa que las dimensiones de la antena son demasiado grandes para su fabricación y futura implantación en un vehículo. Otro aspecto importante era el peso. Gracias al estudio realizado se puede extraer que es posible fabricar la antena con el mínimo espesor y ésta funcionará en el mismo margen de frecuencias y obteniendo las mismas prestaciones.

En el Capítulo IV se realiza un proceso de miniaturización de la antena propuesta en el Capítulo III. Después de realizar un estudio de optimización igual que en el tercer capítulo, se concluye que la miniaturización solo es posible en términos de altura. A la vista de los resultados obtenidos, el ancho de banda correspondiente a la estructura con cavidad no se aproxima como nos gustaría al del tercer capítulo, pasando de 133% a 62%. Tanto el peso como el tamaño sobrepasan los valores esperados con vistas a su posible fabricación.

Como consecuencia de ello, en el quinto capítulo se ha diseñado, fabricado y medido una antena en una banda de frecuencias menor (banda S y L), comprobando su correcto funcionamiento. Un atractivo de esta antena es poder recibir señal 3G, Wi-Fi y Bluetooth. La antena fabricada ajusta en gran medida su comportamiento al simulado en este capítulo. En cuanto a los diagramas de radiación, se ha observado un funcionamiento casi idéntico al simulado, obteniendo nulos de radiación en  $0^{\circ}$  y  $180^{\circ}$  y el máximo en  $90^{\circ}$ . En el caso de la adaptación, se obtienen resultados más alejados a los simulados por causas no derivadas del propio funcionamiento de la antena sino del procedimiento experimental: dificultad de introducción del coaxial de la antena, pérdidas por el uso del analizador de redes, la sonda y el amplificador de bajo ruido.

## **6.2. Líneas futuras de investigación**

Este Trabajo Fin de Grado puede servir como punto de partida para las siguientes líneas de investigación.

### **6.2.1. Reducción del peso de la estructura**

Como se ha podido comprobar, no ha sido posible reducir el peso de la antena, ni para el caso de la de tipo discono ni para su versión miniaturizada. Sin embargo, en el capítulo II, se ha analizado una antena que reduce notablemente esta característica:

“Broadband Omnidirectional and Miniature Fold-up Discone Antenna in VHF/UHF Band”.

Además, sería interesante realizar un estudio de materiales para la realización de la estructura y de esta manera disminuir en gran medida el peso.

### **6.2.2. Búsqueda de otras topologías**

Después de haber realizado el estudio de la antena discono en este Trabajo Fin de Grado, cabe la posibilidad de empezar a analizar otras topologías para buscar los requerimientos visto en el capítulo I. Como se ha comentado en los requerimientos, se necesita una antena que tenga un ancho de banda que comprenda desde los 100 MHz a los 400 MHz (dentro de la banda UVHF) y que el peso de la antena sea lo más reducido posible, ya que la finalidad es ser instalada en un avión.

***Capítulo VII***  
***Presupuesto y Diagrama de Gantt***



## CAPÍTULO VII

### Presupuesto y Diagrama de Gantt

En este capítulo se presenta un diagrama de Gantt, especificando las distintas fases en las que es posible dividir el desarrollo del proyecto e incluyendo las subtareas que componen dichas fases, véase Figura VII.1. Además, se muestra el presupuesto del proyecto, véase Tabla VII.5.

En el presente Trabajo Fin de Grado pueden distinguirse 4 fases principales, cuyo desarrollo suele realizarse en paralelo, siendo: realización de simulaciones, fabricación y medida de la antena, análisis crítico de resultados y redacción de la memoria, y supervisión del trabajo realizado. Estas fases se componen de subtareas cuyo cumplimiento es necesario para la realización de la fase concreta. La gestión del proyecto ha sido controlada gracias al uso de Microsoft Project 2010, software que permite dicha gestión controlando las horas de trabajo, uso de recurso, costo, etc. El tiempo total de realización del proyecto ha sido aproximadamente de 7 meses. A continuación, en la Tabla VII.1, se expone la duración en días de tareas y subtareas, así como la duración total del proyecto en días. A partir de ella, Microsoft Project construye el diagrama de Gantt que se observa en la Figura VII.1.

**Tabla VII.1. Duración de fases (tareas), subtareas y proyecto en días laborables (Microsoft Project)**

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
<b>TFG</b>	<b>153 días</b>	<b>lun 18/11/13</b>	<b>mié 18/06/14</b>
<b>Memoria</b>	<b>152 días</b>	<b>lun 18/11/13</b>	<b>mar 17/06/14</b>
Búsqueda y análisis info estado del arte	18 días	lun 18/11/13	mié 11/12/13
Redactar capítulo 1	2 días	vie 06/12/13	lun 09/12/13
Redactar capítulo 2	15 días	jue 12/12/13	mié 01/01/14
Búsqueda info antena discono	7 días	lun 27/01/14	mar 04/02/14
Redactar capítulo 3	21 días	vie 31/01/14	vie 28/02/14
Redactar capítulo 4	12 días	lun 03/03/14	mar 18/03/14
Redactar capítulo 5	21 días	mar 20/05/14	mar 17/06/14
Redactar capítulo 6 y 7	11 días	lun 02/06/14	lun 16/06/14
<b>Simulaciones</b>	<b>110 días</b>	<b>lun 25/11/13</b>	<b>vie 25/04/14</b>
Instalación y Familiarización con el software	8 días	lun 25/11/13	mié 04/12/13
Implementación antena discono	2 días	mié 12/02/14	jue 13/02/14
Realización y optimización 1er diseño	9 días	vie 14/02/14	mié 26/02/14
Miniaturización	16 días	lun 03/03/14	lun 24/03/14
Optimización parámetros antena miniaturizada	15 días	mar 25/03/14	lun 14/04/14
Realización y optimización prototipo banda superior	9 días	mar 15/04/14	vie 25/04/14
<b>Fabricación y medida</b>	<b>65 días</b>	<b>mié 19/03/14</b>	<b>mar 17/06/14</b>
Estudio viabilidad fabricación antena	3 días	mié 19/03/14	vie 21/03/14
Fabricación y elaboración de planos	20 días	jue 01/05/14	mié 28/05/14
Medida antena	1 día	mar 17/06/14	mar 17/06/14
<b>Supervisión</b>	<b>148 días</b>	<b>lun 25/11/13</b>	<b>mié 18/06/14</b>
Supervisión Memoria	33 días	lun 05/05/14	mié 18/06/14
Supervisión Simulaciones	110 días	lun 25/11/13	vie 25/04/14
Supervisión Medida	1 día	mar 17/06/14	mar 17/06/14

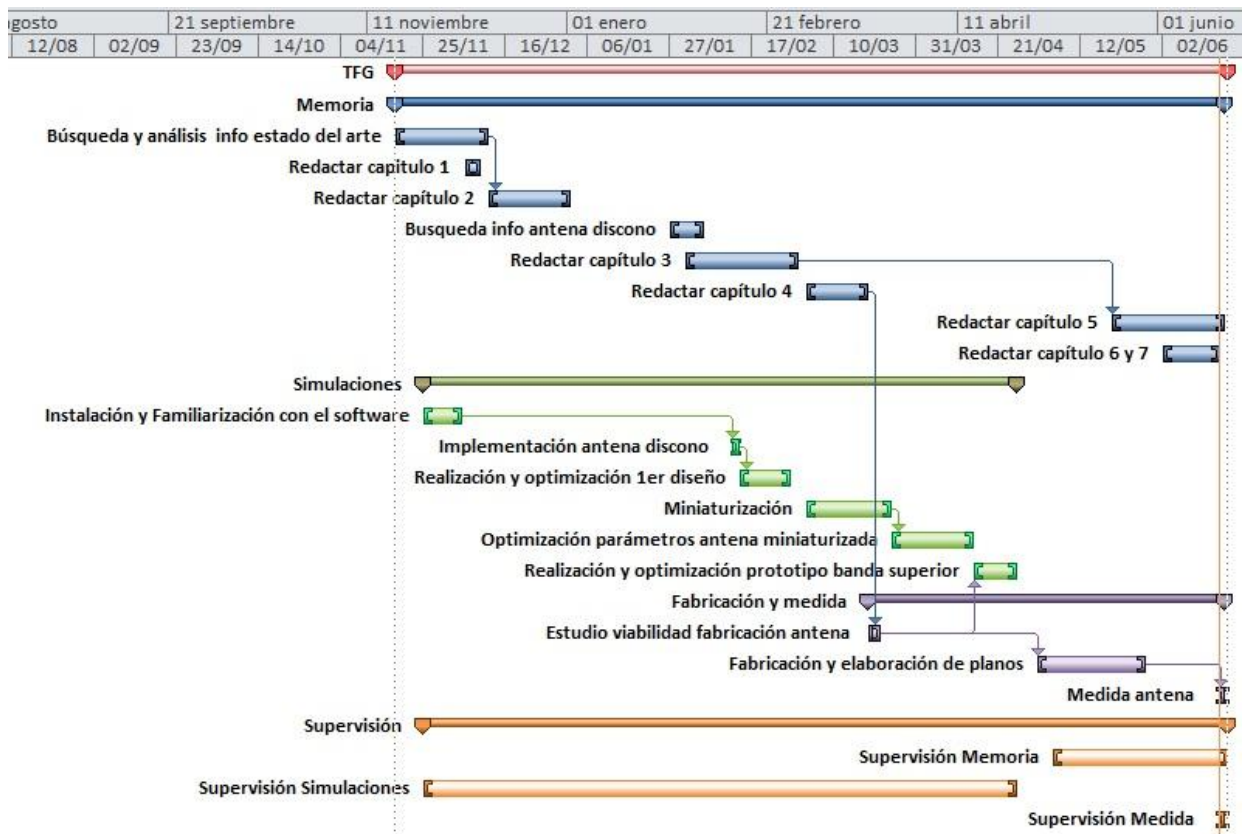


Figura VII.1. Diagrama de Gantt (Microsoft Project)

En la realización del presente Trabajo Fin de Grado ha trabajado como alumno Juan José Arias, como tutor Javier Montero y como co-director Daniel Segovia. Las tareas anteriormente presentadas son asignadas como corresponde a cada recurso (persona). Mediante el software utilizado es posible asignar una tasa fija por hora a cada recurso (personal que ha trabajado para el desarrollo del TFG), en este caso ha sido asignado un coste por hora de 15,0€/h, 25,0 €/h y 40,0 €/h para Juan José, Javier y Daniel, respectivamente. Así pues, ya que las tareas y horas dedicadas han sido introducidas en el software y asignadas a un recurso, podemos conocer el coste final atribuible a personal. Dicho coste de personal puede ser desglosado por tareas y subtareas. A continuación, en la Tabla VII.2, se puede observar la asignación de recurso a cada tarea y su dedicación en puntos porcentuales. Gracias a la introducción de la dedicación se obtienen las horas de trabajo ocupadas por una tarea o subtask. El resultado final y desglosado en cuanto a coste de personal, así como la asignación de recursos, puede observarse en la Tabla VII.2.



Tabla VII.2. Información del proyecto especificando duración, horas de trabajo y costo de personal (Microsoft Project)

Nombre de tarea	Duración	Nombres de los recursos	Trabajo	Costo
<b>TFG</b>	<b>153 días</b>		<b>501,37 horas</b>	<b>8.024,00 €</b>
<b>Memoria</b>	<b>152 días</b>		<b>163,37 horas</b>	<b>2.529,60 €</b>
Búsqueda y análisis info estado del arte	18 días	Juan José Arias[10%]; Javier Montero de Paz[3%]; Daniel Segovia [1%]	20,17 horas	381,60 €
Redactar capítulo 1	2 días	Juan José Arias[30%]	4,8 horas	72,00 €
Redactar capítulo 2	15 días	Juan José Arias[20%]	24 horas	360,00 €
Búsqueda info antena discono	7 días	Juan José Arias[10%]	5,6 horas	84,00 €
Redactar capítulo 3	21 días	Juan José Arias[30%]	50,4 horas	756,00 €
Redactar capítulo 4	12 días	Juan José Arias[40%]	38,4 horas	576,00 €
Redactar capítulo 5	21 días	Juan José Arias[3%]	5,03 horas	75,60 €
Redactar capítulo 6 y 7	11 días	Juan José Arias[17%]	14,97 horas	224,40 €
<b>Simulaciones</b>	<b>110 días</b>		<b>244,88 horas</b>	<b>3.673,20 €</b>
Instalación y Familiarización con el software	8 días	Juan José Arias[30%]	19,2 horas	288,00 €
Implementación antena discono	2 días	Juan José Arias[68%]	10,88 horas	163,20 €
Realización y optimización 1er diseño	9 días	Juan José Arias[50%]	36 horas	540,00 €
Miniaturización	16 días	Juan José Arias[60%]	76,8 horas	1.152,00 €
Optimización parámetros antena miniaturizada	15 días	Juan José Arias[55%]	66 horas	990,00 €
Realización y optimización prototipo banda superior	9 días	Juan José Arias[50%]	36 horas	540,00 €
<b>Fabricación y medida</b>	<b>65 días</b>		<b>43,6 horas</b>	<b>543,60 €</b>
Estudio viabilidad fabricación antena	3 días	Juan José Arias[20%]	4,8 horas	72,00 €
Fabricación y elaboración de planos	20 días	Técnico del Laboratorio[23%]	36,8 horas	441,60 €
Medida antena	1 día	Juan José Arias[25%]	2 horas	30,00 €
<b>Supervisión</b>	<b>148 días</b>		<b>49,52 horas</b>	<b>1.277,60 €</b>
Supervisión Memoria	33 días	Daniel Segovia [1%];Javier Montero de Paz[7%]	21,12 horas	567,60 €
Supervisión Simulaciones	110 días	Javier Montero de Paz[3%]	26,4 horas	660,00 €
Supervisión Medida	1 día	Javier Montero de Paz[25%]	2 horas	50,00 €

Además del coste atribuible a personal es necesario tener en cuenta los costos derivados de la utilización del analizador de redes, el ordenador, programas de simulación y material de fabricación de la antena cuya factura se adjunta en el Anexo: Presupuesto material de la antena fabricada, véase Tabla VII.3 y Tabla VII.4.

Tabla VII.3. Coste de los equipos empleados

EQUIPOS					
Descripción	Coste (€)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable (€)
Programas de simulación CST	4.000	100	8	60	533,33
Ordenador	1.200	100	12	60	240
Analizador de Redes	150.000	100	0,03	60	83,3
Total					856,63

Fórmula de cálculo de la amortización:

$(A/B) * C * D$

A = nº meses desde la fecha de facturación en el equipo que es utilizado

B = periodo de depreciación (60 meses)

C= coste del equipo (sin IVA)

D= % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%)

Tabla VII.4. Coste material de la antena

MATERIAL		
Descripción	Empresa	Coste imputable (€)
Redondo macizo aluminio DIAM. 150 mm x 100 mm LONG	ANSERJO S.A.	67,76
Redondo macizo aluminio DIAM. 80 mm x 100 mm LONG	ANSERJO S.A.	22,99
Total		90,75

Por lo tanto, el coste del proyecto surge de las contribuciones de coste de personal y coste de materiales y equipos empleados, véase la Tabla VII.5, ascendiendo a un total de 8971,38 €.

Tabla VII.5 Coste final desglosado del Trabajo Fin de Grado

COSTE TRABAJO FIN DE GRADO	
Concepto	Coste (€)
Personal	8024,0
Equipo	856,63
Material	90,75
Total	8971,38

# Bibliografía

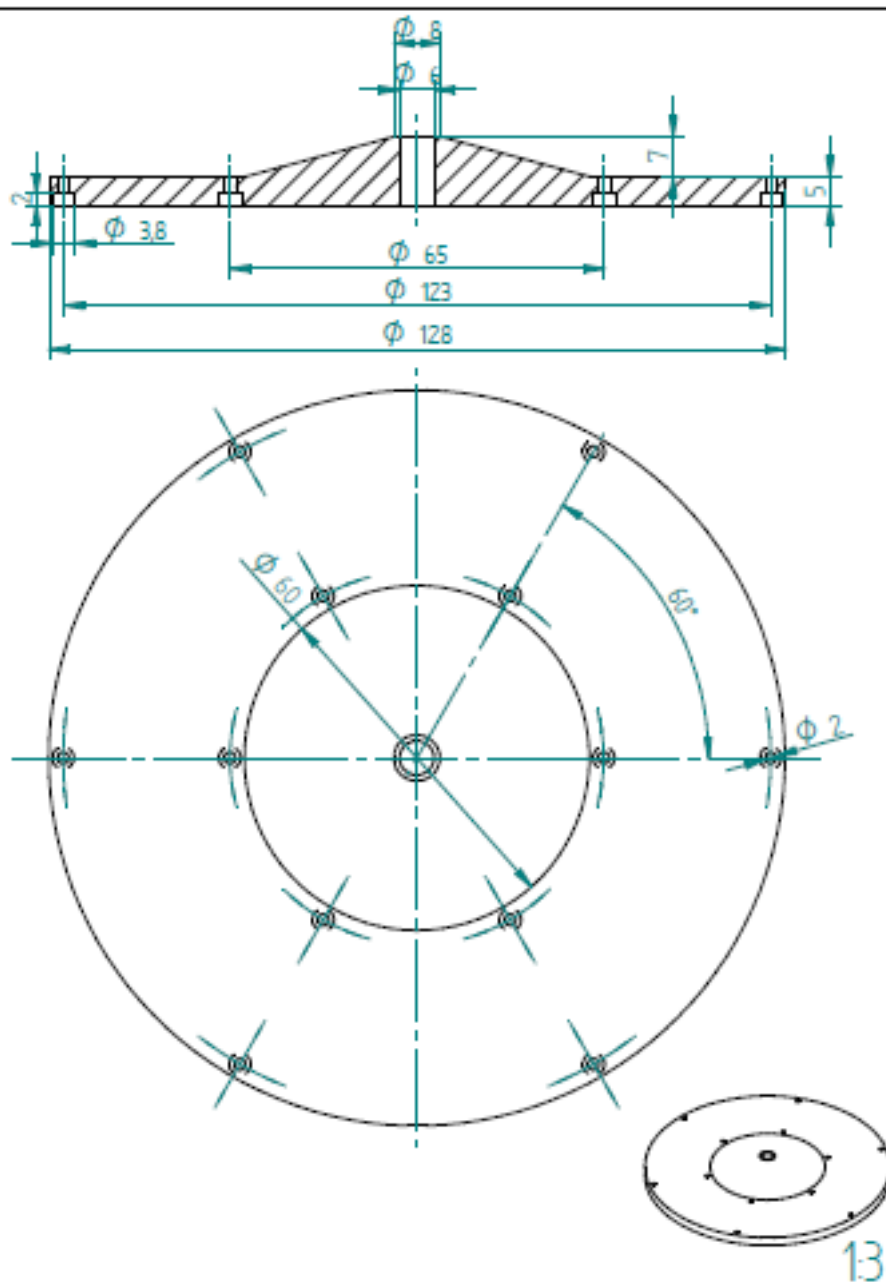
- [1] CST, «CST- Computer Simulation Techonology,» [En línea]. Available: <https://www.cst.com/>. [Último acceso: 4 Febrero 2014].
- [2] ANSYS, «ANSYS HFSS,» [En línea]. Available: [http://www.ansys.com/es\\_es/Productos/Flagship+Technology/ANSYS+HFSS](http://www.ansys.com/es_es/Productos/Flagship+Technology/ANSYS+HFSS). [Último acceso: 23 Marzo 2014].
- [3] FEKO Comprehensive Electromagnetic Solutions, «FEKO-EM Simulation Software,» [En línea]. Available: <http://www.feko.info/>. [Último acceso: 23 Marzo 2014].
- [4] AWR, «AWR. A National Instruments Company,» [En línea]. Available: <http://www.awrcorp.com/es>. [Último acceso: Marzo 23 2014].
- [5] Agilent Technologies, «Advanced Design System (ADS),» [En línea]. Available: <http://www.home.agilent.com/en/pc-1297113/advancen-design-system-ads?&cc=ES&lc=eng>. [Último acceso: 23 Marzo 2014].
- [6] A.W.Rudge y P. Peregrinus, «The handbook of Antenna Design,» Peter Peregrinus, 1986, pp. 1419-1553.
- [7] K. J. Byers, A. R. Harish, S. A. Seguin, C. J. Leuschen, F. Rodriguez-Morales, J. Paden, E. J. Arnold y R. D. Hale, «A Modified Wideband Dipole Antenna for an Airbone VHF Ice-Penetrating Radar,» *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, vol. 63, nº 5, may, 2012.
- [8] J. M. Huidobro, «Comunicaciones Aeronáuticas y Marítimas,» *Revista Digital de ACTA*, pp. 1-16, 2013.
- [9] A. Chen, T. J. Z. Chen, D. Su, W. Wei y Y. Zhang, «A Wideband VHF/UHF Dicone-Based Atenna,» *IEEE antennas and wireless propagation letters*, vol. 10, 2011..
- [10] S. Cheng, P. Hallbjorner y A. Rydberg, «Printed Slot Planar Inverted Cone Antenna for Ultrawideband Applications,» *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, 2008.
- [11] J. Liang, C. Chiau, X. Chen y C. Parini, «Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems,» *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 53, nº 11, Nov. 2005.


- [12] C. Phongcharoenpanich y S. Kawdungta, «Compact Flat Monopole Antenna for Small Aircraft of VHF Communication System,» *IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*, 2012, Singapore.
- [13] H. K. T. S. S. Mohammad Hassan Javadzadeh, «Broadband Omnidirectional and Miniature Fold-up Discone Antenna in VHF/UHF Band,» *Electromagnetics*, vol. 32, pp. 266-273, 2012.
- [14] «Antena Discono, Historia, Aplicaciones, Materiales de construcción, Componentes, Extender la respuesta de baja frecuencia,» [En línea]. Available: [http://centrodeartigos.com/articulos-informativos/article\\_68015.html](http://centrodeartigos.com/articulos-informativos/article_68015.html). [Último acceso: 4 Febrero 2014].
- [15] Z. C. a. M. C. X. Qing, «UWB characteristic of a disc cone antenna,» *IEEE Int. Antenna Technol. Workshop*, pp. 97-100, 2005.

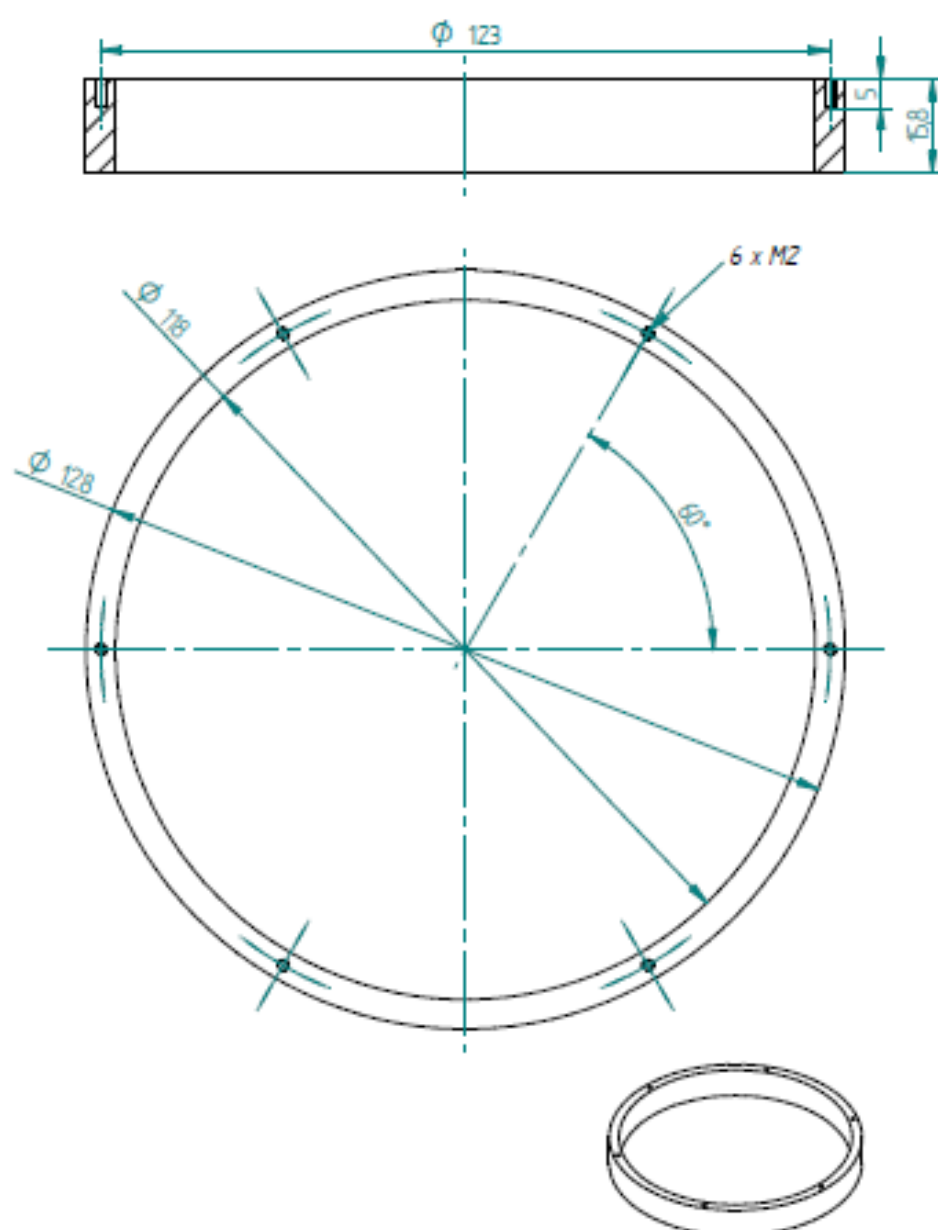
***Anexos***





## Planos de la antena fabricada



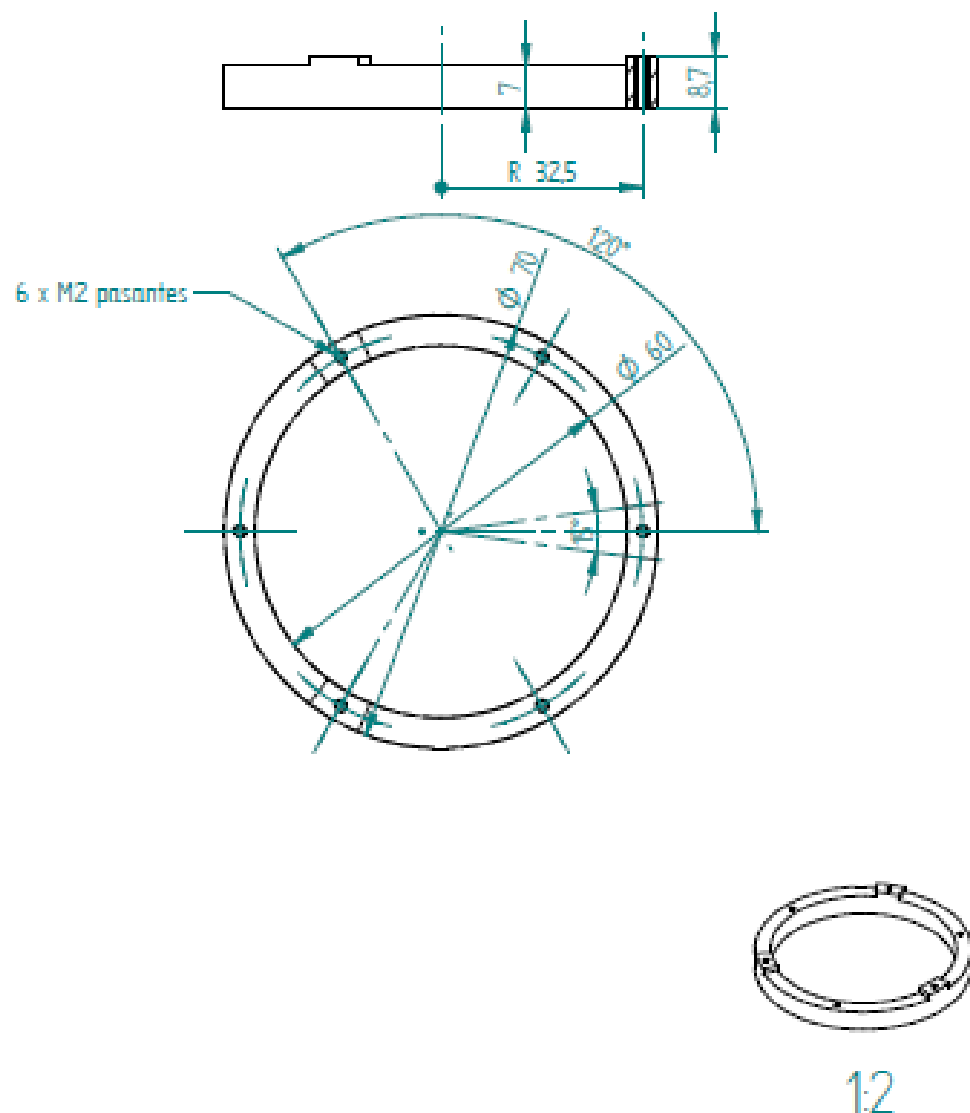
	Nombre	Fecha	 OFICINA TÉCNICA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
Dibujado	E.A.P.	12/05/14	
Comprobado			
Material	Aluminio		
Acabado			
Cantidad			Título: OT-2014-1803-Antena cono
Tolerancias no especificadas según ISO 2768-m.			A4 Plano: 1803-001-Base cono Rev
			Archivo: PlanosEsther.dft
			Escala: 1:1  Hoja 2 de 1





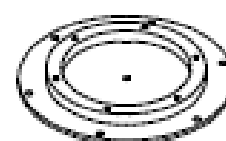
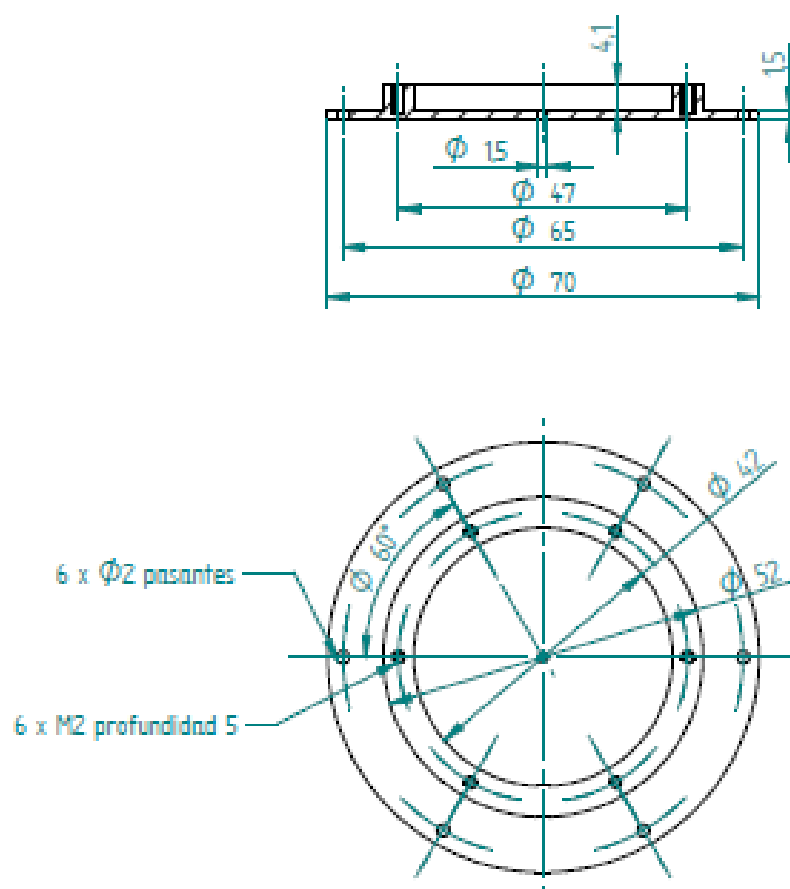
13

	Nombre	Fecha		OFICINA TÉCNICA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID	
Dibujado	EAP.	12/05/14		Título: 01-2014-1803-Antena cono	
Comprobado					
Material	Aluminio				
Acabado					
Cantidad					
Tolerancias no especificadas según ISO 2768-m.			A4	Plano: 1803-002-Camisa exterior	Rev
			Archivo: PlanosEsther.dft		
			Escala: 1:1		Hoja 2 de 1





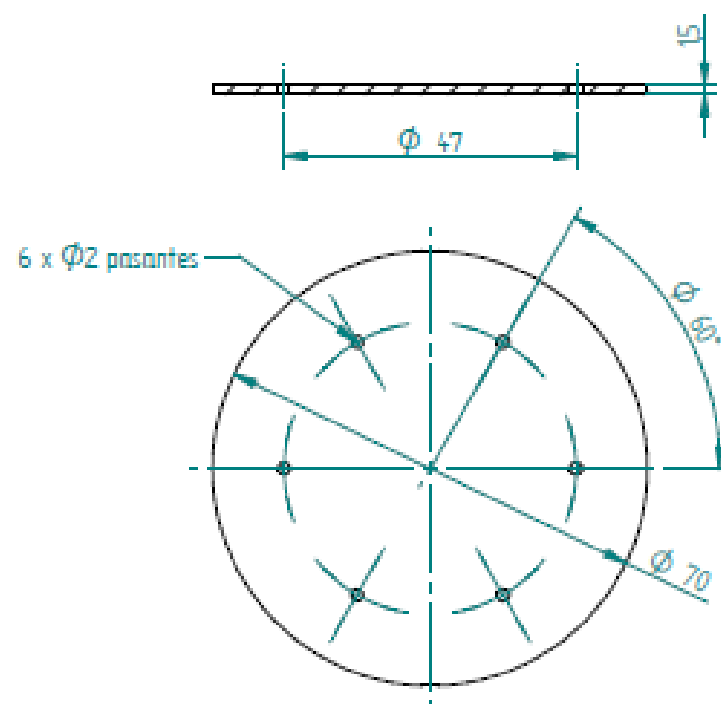




	Nombre	Fecha		OFICINA TÉCNICA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID	
Dibujado	E.A.P.	12/05/14		Título: OT-2014-1803-Antena cono	
Comprobado					
Material	Aluminio				
Acabado					
Cantidad			A4	Plano: 1803-003-Apoyos disco	Rev
Tolerancias no especificadas según ISO 2768-m.			Archivo: PlanosEsther.dft		
			Escala: 1:1		Hoja 2 de 1



1:2

	Nombre	Fecha		OFICINA TÉCNICA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID	
Dibujado	E.A.P.	09/05/14		Título: OT-2014-1803-Antena cono	
Comprobado					
Material	Aluminio				
Acabado					
Cantidad	1 unidad		AL	Plano: 1803-004-Apoyos disco	Rev 1.0
Tolerancias no especificadas según ISO 2768-m.			Archivo: PlanosEsther.dft		
			Escala 1:2		Hoja 1 de 1



	Nombre	Fecha		OFICINA TÉCNICA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID	
Dibujado	EAP.	13/05/14		Título: DT-2014-1803-Antena cono	
Comprobado					
Material	Aluminio				
Acabado					
Cantidad					
Tolerancias no especificadas según ISO 2768-m.			A4	Plano: 1803-005-Placa superior	Rev
			Archivo: PlanosEstherdft		
			Escala 1:1		Hoja 2 de 1

## Presupuesto material de la antena fabricada

**FERRETERIA ANSERJO, S.A.**

A-78188888

C/SAN ONOFRE, 21-23 Apdo. Correos 82

28701 SAN SEBASTIAN DE LOS REYES (MADRID)

TEL: 91 663 81 13 FAX: 91 651 95 94

angel@ventas@anserjo.com

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
AVDA. DE LA UNIVERSIDAD, 30

28811 LEGANES

MADRID

JOSE ANTONIO CAMPO

Teléfono: 916249431

Fax: 916249430

Email: jcampo@pe.uc3m.es

**PRESUPUESTO**

Número Presupuesto	Fecha	Código Cliente	C.I.F.
PS/22332	16/05/2014	1422	Q2818029G

Código	Descripción	Cantidad		Precio		Total
0000	REDONDO MACIZO ALUMINIO DIAM.150 mm x 100 mm LONG	1,00	UN.	55,00		55,00
0000	REDONDO MACIZO ALUMINIO DIAM. 80 mm x 100 mm LONG	1,00	UN.	19,00		19,00

SUMA TOTAL 75,00

Base Imponible	%	Cuota I.V.A.	%	Cuota I.E.	TOTAL EUR
75,00	21,00	15,75			90,75

Pag. 1

Plazo de entrega:

Portes:

Forma de Pago: TRANSFERENCIA BANCARIA 30 DIAS

Observaciones:

Presupuesto realizado por:

ANGEL LUIS

Aceptamos Presupuesto

Sello y firma de la empresa

(Nombre del firmante - fecha)

